الطاقة الجديدة والمتجددة

حاضرها ومستقبلها



الطاقة الجديدة والمتجددة

(حاضرها ومستقبلها)

الطاقة الجديدة والمتجددة

حاضرها ومستقبلها

د. محمود سري طه



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٩٠

بسم الله الرحمن الرحيم

« فاذا آمنتم فاذكروا الله كمـــا
علمكم ما لم تكونوا تعلمون »

صدق الله العظيم

اهـــداء

- الى روح اعظم الآباء واكرم الأمهات ... رحمهما الله .
- الى شريكة حياتى وأم أبنائى .. وائل .. ونادر .. وبروين .
- الى كل اساتذتى وزملائى فى المجالين الاكاديمى والتطبيقى .
- الى الجنود المجهولين فى كل موقع فى هذا البلد الطيب الأمين .

اهدى كتابى الخامس

محمود سرى طـــه

رسالة المؤلف

الى جميع زملائى المتخصصين والمهتمين بشئون الطاقة الكهربائية عامة والعاملين منهم بقطاع الكهرباء خاصة .

أقدم هذا الكتاب

آملا أن يجد كل من يقرأه شيئا ما يضاف الى رصيد معرفته أما زملائى العاملين فى مجال الطاقة الجديدة والمتجددة سواء فى وزارة الكهرباء أو أكاديمية البحث العلمى أو القوات المسلحة أو الجامعات فكلى أمل أن يكون هذا الكتاب مكملا وجزءا لا يتجزأ من عطائهم الوافر فى هذا المجال الحيوى الكبير .

محمود سرى طـه

مقدمة

يمكن أن نقول إن القدر الرئيسي من الطاقة المستغلة في كل بلدان العالم لم يزل وسوف يظل في المستقبل معتمدا في توليده على الوسائل التقليدية · الا أن هناك مجالات كثيرة تتوقع أن تقوم فيها وسائل توليد الطاقة غير التقليدية بدور هام في التنمية ونشر العمران · وقد تنشأ ظروف هذه المجالات عن قلة كثافة السكان في بعض المناطق الصحراوية أو الساحلية أو صغر الأحمال مما لا يبرر اقتصاديات مد الخطوط الرئيسية أو غير ذلك من الاستخدامات والظروف ·

وبالنسبة لوسائل استخلاص الطاقة بطرق غير تقليدية ـ والتى سبق تجربتها فى العالم ، فهى عديدة الا أن البعض منها أثبت جدواه فى مواقع محدودة وتحت ظروف معينة ونذكر منها : ـ

١ ـ الانشطار النووى : وهذه تدخل فى نطاق الوسائل المألوفة لتوليد الطاقة · ويمكن اعتبار الجزء غير التقليدى فى هذه المحطات ينحصر فقط فى تصميم وعمل المفاعل الانشطارى ذاته ·

(١ ـ أ) المفاعلات الانشطارية : مثل مفاعلات الحرارة العالية ـ مفاعلات اليورانيوم (الماء المضغوط ـ الماء المغلى والتى تستخدم يورانيوم ٢٣٥ أو الكاندو والذى يستخدم يورانيوم ٢٣٨) ـ ومفاعلات التوالد السريع · وقد سبق تناول هذه الأنواع بشىء من التفصيل فى كتب نشرت سابقا للمؤلف [٤١] · ووسيلة استخلاص الطاقة فى هذه الطريقة هى استغلال الحرارة المولدة من عملية الانشطار (انشطار نواة الذرة) لتحويل المياه ـ داخل غلاية بخارية ـ الى بخار لادارة توربينات بخارية لتوليد الكهرباء ·

(١ ـ ب) الانبعاث الالكترونى : وهو التطبيق غير التقليدى الأول الذى تفرع عن بحوث الطاقة النووية · وتجرى بحوث مكثفة حاليا فى غالبية الدول الكبرى على ادخال التحويل المباشر من حرارة ـ الى كهرباء عن طريق الانبعاث الالكترونى فى الأماكن الأكثر ارتفاعا فى درجة حرارتها داخل المفاعلات وهذا الأسلوب يمتاز بالتغلب على مشاكل توليد

البخار والأجزاء المتحركة كما يستغل الحرارة من المكان الأكثر ارتفاعا ·
وغنى عن الذكر أن هذا الاسلوب يتطلب امكانيات كبيرة ومتطورة · وقد يكون الاسلوب الأصح فى التطبيق هو استخدام هذه الوسيلة بالارتباط بوسائل أخرى فى نفس الجهاز على شكل مولد متعدد المراحل ·

(١ ــ ج) النظائر المشعة : وهو التطبيق الثانى غير التقليدى المتفرع عن الطاقة الذرية والنظائر المشعة تعتبر مخزن للطاقة ترسلها بشكل منتظم يتناقص تدريجيا على مدى يتحدد بنصف عمر المادة المشعة المستخدمة · وهذه الطاقة يمكن أن تتحول الى حرارة عن طريق امتصاصها فى مادة ثقيلة ومعزولة حراريا على قدر الامكان عن الجو المحيط وقد كان للتطور الحديث فى أشباه المواصلات أكبر الأثر فى امكان بناء ازدواجات حرارية تستغل هذه الطاقة لتوليد كهرباء فى وحدات صغيرة تلائم بعض الاستخدامات · والاستخدامات التى تتلائم معها هذه الطريقة هى التى تتميز بالانعزال وضرورة الاستمرار · وأمثلة ذلك كثيرة فى أجهزة الفضاء والأجهزة والفنارات فى المناطق المنعزلة أو فى المناطق القطبية · وواضح أن مثل هذا المصدر يستمر فى العمل فترات طويلة بدون الحاجة الى أى عناية أو اشراف · وهذه الطريقة تتطلب كميات كبيرة من المواد المشعة قد تصل الى ٩١٠ كورى لتوليد طاقة فى حدود ٥ ميجاوات · ولا يخفى ما تتطلبه مثل هذه الكميات من أساليب خاصة فى الانشاء والعزل ·

٢ ــ وسائل التحويل المباشر : ويمكن تقسيمها الى أربعة وسائل : الانبعاث الالكترونى وأشباه الموصلات والوسائل الكهروكيميائية والمغناطيسية أما بخصوص وسائل اثارة أشباه المواصلات لتوليد الكهرباء فقد تكون عن الطريق الحرارى أو الضوئى · ومثل هذه الوسائل الثابتة ممكن اعتبارها آلات حرارية تستخدم الالكترونات (أو الايونات) فى القيام بوظيفة الغاز العامل أو البخار وعلى ذلك فهى تقبل التطويع لكثير من صور الطاقة كما أن الكفاءة الحرارية لها تقرب كثيرا من الحالة المثالية·

(٢ ــ أ) الانبعاث الالكترونى : وقد ذكرنا أسلوب استخدامه (فى أ ــ ب) ·

(٢ ــ ب) الوسائل الكهرحرارية والكهرضوئية : وتعتمد أساسا على أنواع مطورة من أشباه الموصلات ·

ولو أن الظاهرتين يعتبران من الظواهر المعروفة منذ زمن بعيد الا أن الاستغلال العملى لها كمصادر لتوليد الطاقة لم يأخذ دورا جديدا الا

بالارتباط بتلك الأنواع من أشباه الموصلات التى تسمح لهذه الوسائل بالدخول فى نطاق قيم الكفاءة وقد تصل بعض الخلايا الضوئية الى كفاءة ١٠٪ حاليا .

وقد وجدت هذه الأساليب استخدامات كثيرة بالارتباط بالطاقة الشمسية وطاقة النظائر المشعة . ومن أنجح هذه التطبيقات استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء فى الفضاء كما أنها تستخدم حاليا كذلك فى الاتصالات التليفونية عبر الصحروات المنعزلة .

(٢ - ج) الخلايا الكيميائية : ولا تعتبر هذه الوسيلة من الوسائل غير التقليدية بالنسبة لاستخدامها فى الوحدات الصغيرة سواء وحدات أولية (الخلايا الجافة) ووحدات قابلة لاعادة الشحن (مراكم) مثل خلايا الوقود .

خلايا الوقود : وأحد أنواع هذه الخلايا يستخدم التفاعل الكيميائى بين الأكسجين والايدروجين لانتاج الماء فى انتاج طاقة كهربائية . وتتكون الخلية فى هذا النوع من قطبين أجوفين من مادة الفحم ومغمورين فى اناء به محلول « ايدروكسيد البوتاسيوم » ويغذى غاز الأكسجين وغاز الايدروجين كل واحد منهما فى تجويف أحد الأقطاب وبذلك يتولد تيار كهربائى فى الدائرة الخارجية .

ويتسبب التفاعل الكيميائى عند قطب الايدروجين فى انتاج الالكترونات التى تدخل الدائرة الكهربائية ومنها تعود الى قطب الأكسجين الذى يحدث عنده نقص الالكترونات أثناء التفاعل الكيميائى للأكسجين .

وترتفع القدرة الناتجة من الخلية بزيادة ضغط الغازات ويمكن توصيل هذه الخلايا على التوالى للوصول الى الجهد المطلوب أما التيار فيتوقف على حجم الخلية .

(٢ - د) وسائل مغناطيسية : وهى وسائل تعتبر فى طور البحوث وتعتمد على تغير الخواص المغناطيسية مع الحرارة . وتسمى المغناطيسية الحرارية وتتطلب مصدرا حراريا متغير بالزيادة والنقصان حول درجة حرارة كورى المميزة للمادة المغناطيسية الحديدية المستخدمة .

٣ - الطاقة الشمسية : لا نبالغ اذا قلنا أن جميع مصادر الطاقة الموجودة على الأرض سواء ما كان منها صالحا للتطويع أو غير ذلك قد

نشأ أولا من الطاقة الشمسية . وهذه بدورها هى طاقة للاندماج النووى للمواد المكونة لجرم الشمس ذاته .

ولقد كان استخدام الطاقة الحرارية للشمس معروفا منذ آلاف السنين فى المناطق الحارة اذ استخدمت طاقة الشمس فى تسخين المياه وفى تجفيف بعض المحاصيل لحفظها من التلف . الا أن مجالات استغلال الطاقة الشمسية حديثا تشعبت فمن انتـــاج الكهرباء وتدفئة المنـازل وتكييف الهواء الى تصميم البيوت الشمسية الى الطهى الى صهر المعادن والتطبيقات الصناعية الأخرى .... الخ .

الا أن الحاجة لاستغلال الكميات الهائلة من طاقة الشمس تضع أمامنا مشكلة كبيرة وهى الحاجة الى مساحات كبيرة من المواد الممتصـة والمجمعة للحرارة اضافة الى أن طاقة الشمس تتاح فى فترات محددة من اليوم كما أن وجود السحب أو الضباب يحد من وصول هذه الطاقة . وفعلا كانت وما زالت هذه المحددات هى المحاور الرئيسية التى تدور حولها أبحاث الطاقة الشمسية حاليا للاستفادة أكثر من الطاقة الشمسية وبتكلفة أقل .

وتتلقى الأجواء العليا طاقة شمسية بمعدل ٤٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية لكل متر مربع فى الساعة . الا أنه نظرا لانتقال هذه الحرارة خلال الجو المحيط بالأرض فان الطاقة التى تصل الى سطح الأرض تتراوح ما بين ٢٥٠٠ الى ٣٥٠٠ وحدة بريطانية لكل متر مربع فى السـاعة . وتتوقف كفاءة انتقال الحرارة على كتلة الهواء . وعلى السحب والضباب وعلى الاشعاع ذاته .

وتتكون الطاقة الشمسية من موجات كهربائية مغناطيسية تتراوح طول موجتها بين ٠ر٣ ، ٢٠ ميكرون وتقع حوالى ٩٠٪ من هذه الطاقـة فى المدى من ٠ر٣ الى ٣ ميكرون .

وقد تناولنا بالذكر استخدام الطاقة الشمسية عن طريق التحويل المباشر والوسيلتين الآخرتين يمكن ذكرهما فيما يلى :

(٣ ـ أ) **التسخين** : وهو استخدام أقرب الى التطبيق العملى . وسواء بالتركيز للحصول على درجات الحرارة شديدة الارتفاع أو مع عدم التركيز فى استخدامات مختلفة مثل تدفئة المياه أو التبخير سواء للماء المالح لازالة ملوحته أو لاستخراج المواد بالبخر وهـذه الطريقة يمـكن تطويعها الى خدمة الكثير من الأغراض الانسانية .

(٣ ـ ب) **القوى المحركة** : وتوليد الطاقة بهذه الطريقة يكون عن طريق تركيز أشعة الشمس فى مولدات بخار يمكن توليد قوى محركة عن طريقها ثم الحصول على كهرباء وقد تعرضت هذه الطريقة لكثير من التجربة والمحاولة والمأمول أن تصل الى مرحلة التطبيق العملى قبل حلول القرن الحادى والعشرين ٠

٤ ـ **طاقة الرياح** : وتعتبر طاقة الرياح من أقدم صـــور الطاقة استخداما فقد استغلت فى الســفن الشراعية وفى الطواحين الهوائية ٠ ونظرا لأنه لا يمكن الاعتماد عليها من ناحية الاستمرار والثبات فقد تأخر انتشارها كوسيلة رئيسية من وسائل توليد الطاقة ٠ ويمكن تصور عدم الثبات فى القدرة المنتجة عنها اذا علمنا أن القدرة الناتجة تتناسب مع سرعة الريح للأس الثالث ٠ بالاضافة الى أن كفاءة تحويل الطاقة تتوقف على سرعة الرياح من نوع المروحة له كفاءة تصميمية ٦٠٪ الا أن الكفاءة الفعلية لا تزيد عن ٤٠٪ ٠

وتتغير سرعة الرياح خلال السنة من ٣ الى ٨ كيلو متر فى الساعة بخلاف الزوابع والدفعات الهوائية كما تختلف السرعة من عام لآخر فى حدود حوالى ١٠٪ ٠ ولذلك فان القدرة المولدة من المحركات الهوائيــة (مثل سواحل البحار فى مصر) الا أنه قد يكون من المفضل ربطها مع البحوث الى حد كبير فى تطوير أنواع من المولدات الكهربية لتلائم ذلك ٠

هذا وتصلــح محركات الهــواء فى انتاج الطاقة للمناطق النائية (مثل سواحل ابحار فى مصر) الا أنه قد يكون من المفضل ربطها مع طريقة أخرى من طرق انتــاج الطاقة (مولدات الديزل مثلا) لضــمان استمرار التغذية الكهربائية ٠

٥ ـ **وسائل أخرى** : توجد مجمــوعة أخرى من الوسائــل طبق بعضها على نطاق تجريبى مثل طاقة الأمواج وطاقة المــد والجزر وطاقة الحرارة الأرضية أو البخار الطبيعى والحيوية ٠

(٥ ـ أ) **طاقة المد والجزر** : فى بعض المناطق يمكن فى خلال المد والجزر تغير ارتفاع منسوب المياه حوالى ٢٠ مترا فى خــلال (حوالى) ١٢ ساعة ٠ وعلى هذا فانه من الممكن حجز كميات كبيرة من المياه لتمر خلال تربينات مائية تنتج قدرة ميكانيكية أو كهربائية ٠ وقد استخدمت هذه الخاصية فى فرنسا لانتــاج قدرة حوالى ٢٤٠ ميجاوات باستخدام مولدات وتربينات مغمورة فى المياه وتولد الطاقة فى خــلال فترات المد والجزر ٠

(٥ ـ ب) **الطاقة الحرارية المختزنة في مياه المحيطات** : حيث تقوم أشعة الشمس بتسخين المياه السطحية فى المحيطات والبحار فى المناطق الاستوائية وتذيب الثلوج المحيطة بكل من القطب الشمالى والجنوبى لتؤدى الى خلق تيارات مائية باردة فى أعماق المحيط (أو البحر) والتى تتدفق أسفل الطبقات الدافئة • وهذا ما دعى الى نشأة فكرة استغلال التباين الحرارى بين طبقات المياه السطحية الدافئة والعميقة الباردة لتوليد طاقة حرارية ـ باستخدام سوائل وسيطة (مثل الامونيا) ذات درجة غليان منخفضة •

ووضعت الولايات المتحدة خطة تستهدف انشاء محطة حرارية متكاملة تستخدم هذه الفكرة تصل الى ٢٥٠ ميجاوات لتعمل خلال التسعينات من هذا القرن •

(٥ ـ ج) **طاقة حرارة الأرض** : نظرا لأن قلب الكرة الأرضية لا يزال ساخنا وفي درجة حرارة عالية وتسبب التفاعلات البركانية داخل الأرض تكون بخار الماء الذى يخرج من التشققات فى القشرة الأرضية •

وقد استخدم مثل هذا البخار فى ايطاليا وآيسلاندا لانتاج الطاقة وللتدفئة ويقوم مشروع لارداريلو فى ايطاليا على أساس حفر آبار للبخار تصل الى أعماق ٣٠٠ الى ٥٠٠ متر فى مناطق خاصة تقوم بتجميع البخار الناتج واستخدامه لادارة تربينات بخارية •

(د ـ هـ) **طاقة الكتلة الحيوية** : تحتوى الكثير من المخلفات والنفايا الآدمية والحيوانية والنباتية على مواد عضوية ـ أو كتلة حيوية ـ يمكن الافادة منها فى توليد الطاقة • وأجريت كثير من الدراسات لتجميع وللاستفادة من هذه الطاقة بوسائل آمنة واقتصادية سواء باستخدام التخمير البكتيرى أو الاحتراق الحرارى أو بتحلل الكائنات الحية المجهرية • كما أن هذه الأساليب لا تعود على المجتمع بفائدة اقتصادية (طاقة ـ أسمدة ••• الخ) • فحسب بل تساهم كثيرا فى حل بعض مشاكله البيئية •

والجدير بالذكر فان عملية بناء محطات ـ أو وحدات ـ صغيرة لحرق النفايا لتحويلها الى طاقة حرارية سرعان ما تحولت ـ فى السنوات الأخيرة ـ الى مجال كبير لنشاط كبريات الشركات الصناعية ورجال الأعمال الأمريكين حتى وصل عدد هذه المحطات فى الولايات المتحدة ـ حتى تحرير هذا الكتاب ـ الى حوالى ٦٠٠ محطة سعة كل منها ما يعادل أو أكبر من ٤٠ طن يوميا • ووصل اجمالى استثماراتها ـ خلال عامين (٨٥ ـ ١٩٨٧)

بالولايات المتحدة وحدها الى حوالى ٢ مليار دولار • والمتوقع أن يرتفع الى حوالى ٢٠ مليار قبل حلول القرن الحادى والعشرين •

مما سبق نرى أن مصادر ـ وسائل ـ ونواتج الطاقة المولدة بطرق غير تقليدية كثيرة ومتشعبة ويصعب تغطيتها فى كتاب واحد •

ولقد رأى المؤلف أن يتضمن هذا الكتاب اقربها الى التطبيق العملى ـ فى المستقبل المنظور وعلى الأخص ـ فى الدول النامية •

الباب الأول : عن الطاقة الشمسية ويتضمن هذا الباب : ـ

مقدمة عن الطاقة الشمسية : وتتضمن معلومات عامة عن طبيعة هذه الطاقة وكثافتها ـ نظم المتسخين والتبريد الشمسى ـ النظم الشمسية الحرارية/الكهربائية ـ نظم الطاقة الشمسية الكلية ـ خلايا الضوء الشمسية فى الأرض والفضاء (الكهرباء من الشمس) •

الفصل الأول : الخلايا الفوتوفولطية أو خلايا الضوء الشمسية : وتتضمن شرح موجز لها ـ تقنيات الانتاج التجارى المعروفة (السيليكون الأحادى ومتعدد البلورات ـ الشرائط السليكونية ـ والخلايا من أنواع الأغشية الرفيعة الأخرى) ـ التوقعات المستقبلية لتقنيات الانتاج التجارى ـ انتاج الخلايا الفوتوفولطية والأنماط الجاهزة فى الدول النامية ـ الاتجاهات المختلفة لصناعة الخلايا الفوتوفولطية ـ توصيل الخلايا الفوتوفولطية بالشبكات الكهربائية ـ النظم المعاونة (الفرعية) لتعديل التيار لمحطات التوليد الفوتوفولطية المركزية ـ استقراء لمستقبل صناعة الخلايا الفوتوفولطية فى القرن الحادى والعشرين ـ ثم توصيف لسوق الطاقة •

الفصل الثانى : الاستخدام الحرارى للطاقة الشمسية : وقسم هذا الفصل الى : ـ

أولا : التسخين والتبريد الشمسى : وشرح لكل من النظم المتكاملة من المضخات الحرارية وسخانات المياه التى تعمل بالغاز ـ النظام المركب من المضخة الحرارية الشمسية والمجمع الشمسى المعبأ بسائل للتبريد ـ توصيف لتجربة لتقييم أداء نظام المضخات الشمسية الحرارية ذات التمدد المباشر •

ثانيا : بيوت الطاقة الشمسية الخاملة : وشرح لكيفية عملها وتكوين جهاز الطاقة الشمسية الخاملة ـ الاعتبارات التصميمية لهذه البيوت وشرح لمثالين تطبيقين لها •

ثالثا : البرك الشمسية : شرح لفكرة البرك الشمسية وأمثلة لمشاريعها فى بعض دول العالم ـ اعتبارات الموقع ـ توربينات البرك الشمسية (والتى تعمل بدون بخار) ـ منع التسرب أو الارتشاح من البرك الشمسية ـ المواقع المناسبة لاقامة البرك الشمسية فى ج٠م٠ع ـ عرض لبعض البيانات الهامة اللازمة لاقامة مشروعات البرك الشمسية بالقاهرة والمناطق المناخية فى ج٠م٠ع ٠

رابعا : التطبيقات الشائعة للطاقة الشمسية : وتتضمن التطبيقات الشائعة لاستخدامات الأجهزة الشمسية (البخر الشمسى ـ تسخين المياه ـ التقطير بالطاقة الشمسية والتجفيف بالطاقة الشمسية) ـ المجالات التقنية لتطبيقات الطاقة الشمسية باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة (تطبيقات تسخين المياه والتدفئة ـ التثليج والتبريد ـ تجفيف الأطعمة ـ العمليات الحرارية الصناعية) ـ المجالات التقنية لتطبيقات الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الفوتوفولطية ـ ثم تطبيقات الطاقة الشمسية فى الدول النامية ٠

خامسا : الطاقة الشمسية للعمليات الصناعية ذات الحرارة العالية : ويتضمن شرح موجز لاتجاهات الأبحاث الحديثة لتطوير الاستخدامات الحرارية والاعتبارات التصميمية العامة ـ شرح عام لتقنيتين هما **مصفوفة** المرايا الدوارة ٠ (الهليوستات) الموحدة وهليوستات فيدا الصناعية ٠

سادسا : دراسات لبعض مشروعات الطاقة الشمسية فى العالم : ويتضمن دراسة تحليلية موجزة لثلاثة مشروعات هى : محطة الاستقبال الشمسية المركزية الأمريكية (سولاروان) بقدرة ١٠ ميجاوات (توصيف وشرح لمكونات المشروع وأهم ما تمخضت عنه اختبارات المشروع) ـ دراسة الجدوى المبدئية لتركيب أجهزة استقبال حرارية مركزية تعمل بالطاقة الشمسية بواحة الفرافرة فى ج٠م٠ع٠ (حسابات متطلبات القدرة ـ التصميم المبدئى لمكونات المشروع) ـ المشروع الأمريكى العملاق لانشاء محطات شمسية فى الفضاء الخارجى (مراحل المشروع ـ نبذة عن التصميم المرجع المشروع ـ عملية بناء المحطة الفضائية ثم كلمة عن المشاكل التى تواجه هذا المشروع) ٠

الباب الثانى : عن طاقة الرياح : وهو عبارة عن فصل واحد هو :

الفصل الثالث : ويتضمن من نبذة تاريخية عن طاقة الرياح وعن بعض مجالات استخدامها ـ صور من الجهود العالمية لتطوير وسائل استغلال طاقة الرياح (عرض تاريخى لتطوير توربينات الرياح) ـ

تطوير المولد الكهربى (نظام تحميل تيار الاثارة والبديل ثلاثى الأطوار لهذا النظام ـ توربينات الرياح الضخمة ذات المحور الأفقى وخصائصها (النموذج صفر ـ النموذج صفر/أ ـ الطراز ١ ـ الطراز ٢ ـ الطراز ٥ ـ الطراز ٥أ الطراز ٥ب) توربينات الرياح ذات المحور الرأسى ـ توربينات الرياح ذات التقنيات الحديثة والمتقدمة ـ اقتصاديات توربينات الرياح وأخيرا الآثار البيئية لتوربينات الرياح ٠

الباب الثالث عن الطاقات المستخرجة من الأرض ـ المحيطات والكتلة الحيوية : ويشتمل هذا الكتاب على أربعة فصول هى : ـ

الفصل الرابع : طاقة جوف الأرض : ويتضمن نبذة عن طاقة جوف الأرض وعرض للفصائل أو النظم المعروفة منها (نظم البخار الجاف ـ نظم الماء الساخن أو الحار ـ نظم المياه المضغوطة ـ النظم البتروحرارية) ـ مشاكل استغلال نظم طاقة جوف الأرض ـ تطويع هذه النظم لتوليد الكهرباء وأخيرا مستقبل تقنية استخلاص طاقة جوف الأرض ٠

الفصل الخامس : طاقة المد والجزر : ويتضمن شرحا للظاهرة ـ توليد الطاقة الكهربائية من المد والجزر ـ امكانات الاستيعاب الاستاتيكية والديناميكية لطاقة المد والجزر ـ حساب امكانية استيعاب طاقة المد والجزر الخام ـ دراسة لحالة واقعية لمشروع استغلال طاقة المد والجزر بخليج فوندى الكندى (دراسة تحليلية لامكانات موقع المشروع ـ دراسة تحليلية لأثر ادخال وحدات المد والجزر فى خطة التوسع فى التوليد الكهربى الكندى مع الجداول اللازمة ٠

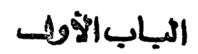
الفصل السادس : الطاقة الحرارية المختزنة بمياه المحيطات : ويتضمن نبذة عن التقنية ثم وسائل استخلاص الطاقة الحرارية المختزنة بمياه (الدائرة المفتوحة والدائرة المقفلة) ـ الدراسات الخاصة بهذه التقنية ـ الاختيارات التى طرحت أمام البرنامج الأمريكى لتطوير هذه التقنية ـ التجارب الريادية لاقامة محطة توليد كهربائية باستخدام هذه التقنية وتقييم أو تحليل لاحدى هذه التجارب ـ مشاكل نقل الطاقة الكهربائية المولدة بهذه التقنية ـ خطوات ضرورية قبل تنفيذ مشروع اقامة محطة لتوليد الكهرباء بهذه التقنية ٠

الفصل السابع : الكتلة الحيوية : ويتضمن نبذة عن واستخدامات الكتلة الحيوية ـ تقنيات حرق النفايا ـ حرق النفايا هو انتاج للطاقة وتلوث البيئة (مع بيانات حجم مشاريع الكتلة الحيوية

والشركات العالمية التى دخلت هذا الميدان) ـ تقنيات انتاج الغاز الحيوى والميثان وأخيرا معالجة للماء الفائض من العمليات الصناعية وعملية بيوثين ٠

هذا وقد حرص الكتاب على تقديم التسهيلات الممكنة الآتية كلما أتيحت الفرصة لذلك وهى : ـ

- تقديم صور فوتوغرافية للأجهزة والمعدات ٠
- تقديم خصائص الأداء للمعدات ونتائج التجارب والبحوث على شكل منحنيات أو جداول ٠
- تقديم المؤشرات ـ أو القواعد المعمول بهـا بالنسبة للتصـميم والتخطيط ٠
- ثم يتناول الكتاب شرحا لبعض المصطلحات التى وردت بالكتاب٠
- وأخيرا يتناول الكتاب المراجع التى استخدمها المؤلف ٠


الباب الأول

الطاقة الشمسية

مقدمــة :

لا نبالغ اذا قلنا أن جميع مصادر الطاقة الموجودة على الأرض سواء ما كان منها صالحا للتطويع أو غير ذلك قد نشأ أولا من الطاقة الشمسية . والطاقة الشمسية بدورها هى طاقة لاندماج النووى للمواد المكونة لجرم الشمس ذاته .

ولقد كان استخدام الطاقة الحرارية للشمس منذ آلاف السنين معروفا فى المناطق الحارة اذ استخدمت طاقة الشمس فى تسخين الميـاه وفى تجفيف بعض المحاصيل لحفظها من التلف . الا أن التجارب تجرى حاليا لاستغلال طاقة الشمس فى انتاج الطاقة الكهربائية وفى تدفئة المنازل وتكييف الهواء والطهى وفى صهر المعـــادن . الا أن الحاجة لاستغلال الكميات الهائلة من طاقة الشمس تضع أمامنا مشكلة كبيرة وهى الحاجة الى مساحات كبيرة من المواد الممتصة والمجمعة للحرارة . وبالاضافة الى هذه الصعوبة فان طاقة الشمس تتاح فى فترات محددة من اليوم كما أن وجود السحب أو الضباب يحد من وصول هذه الطاقة .

وتتلقى الأجواء العليـــا طاقة شمسية بمعدل ٤٠٠٠ وحدة حرارة بريطانية لكل متر مربع فى الساعة الا أنه نظرا لانتقال هذه الحرارة خلال الجو المحيط بالأرض فان الطاقة التى تصل الى سطح الأرض تتراوح بين ٢٥٠٠ ، ٣٥٠٠ . وتتوقف كفاءة انتقال الحرارة على كتلة الهواء . وعلى السحب الضباب ، وعلى الاشعاع ذاته .

ويعتبر الحزام الشمسى Solar Belt للكرة الأرضية بين خطى عرض + ٣٠° شمالا و – ٣٠° جنوبا بالنسبة لخط الاستواء وهـذه المنطقة أو الحزام تتعرض لســاعات شمسية خلال العـــام تتراوح بين ٣٠٠٠ الى ٤٠٠٠ ساعة سنوية .

الا أن اختلاف المناطق الجغرافية والبيئية جعل الاختلاف بينا فى كمية الطاقة التى تسقط على المتر المربع من سطح الأرض . وهناك عوامل

كثيرة لها تأثير على تقليل كمية الطاقة الشمسية الساقطة منها على سبيل المثال بخار الماء العالق فى الهواء والغازات المختلفة مثل ثانى أكسيد الكربون وكذا طبقة الأوزون المغلفة للهواء الجوى من الخارج وكذا الأتربة المعلقة فى الهواء ٠

ولقد حظيت جمهورية مصر العربية بطبقة جوية تعتبر مثالية من الناحية العلمية والعملية والتى لا تمثل مثل هذه العوامل تأثيرا كبيرا على كمية الطاقة الشمسية الساقطة حيث تقع فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية بين خطى +٣٠° و+٢٠° شمالا ٠ فنجد أن جزءا كبيرا من أراضى الجمهورية يقع فى مناطق الصفاء الجوى والتى تعطى طاقة شمسية تقدر بحوالى ٤٠٠٠ ساعة سنوية مع كمية طاقة شمسية تقدر بحوالى كيلووات على المتر المربع مكونة من أشعة حرارية وضوئية مباشرة ـ ومنتشرة وهذه الكمية وأن كانت صغيرة الا أنها تعتبر فى بعض طرق الاستغلال لهذا المصدر اقتصادية ٠ ولما كانت الاحصائيات العلمية تعطى انذارا بقرب نضوب مخزون الوقود فى العالم وبالنسبة للطاقة الحرارية منها أو الكهربائية مما يجعل قصر استخدامها على الدول الغنية ٠

من أجل هـذا فلابد من استمرار البحوث فى استغلال الطاقة الشمسية وكذا استغلالها مع الاستمرار فى تحسين أجهزتها لرفع كفاءتها حتى تستطيع الأجيال التى تلينا أن تجد أساسا علميا أو عمليا لاستغلال هذا المصدر ٠

وتصل الطاقة الشمسية الى الأرض على شكل ضوء أو طاقة اشعاعية ٠ ففى اليوم الصحو عندما تكون الشمس عمودية فان طاقتها الاشعاعية تصل الى سطح الأرض بمعدل ١ ك ٠ و/م٢ أى أنها مصدر للقدرة وفير لو أمكن تجميعه واستغلاله للوفاء باحتياجاتنا من الطاقة ٠ وتوجد ٣ طرق رئيسية لتسخير قدرة الطاقة الشمسية ٠ الأولى بتجميع حرارتها للاستغلال المباشر فى التسخين والتبريد ٠ والثانية باصطياد أو باحتجاز حرارة الشمس لتسخين وغليان الماء لانتاج البخار لادارة توربين لتوليد الكهرباء ٠ والثالثة باستغلال ضوء الشمس لتوليد الكهرباء من خلال الخلايا الفوتوفولطية ٠

نظم التسخين والتبريد الشمسى :

التسخين الشمسى لكلا المياه والتدفئة أصبح متاحا حاليا وأفضل استخدام له فى الأماكن التى يسود فيها اشراق الشمس ٠ وتستخدم نظم التسخين الشمسى مجمعات مسطحة عبارة عن ألواح Panels

ذات سطوح خلفية مسطحة وسوداء (لامتصاص الحرارة) وهذه الألواح مثبتة الى مواسير مياه أو هواء ومغطاة بالزجاج أو البلاستيك وتوضع على سطح roof بميل (مائل) أو على أطر Frames تواجه الشمس ·
وتمتص السطوح الداكنة (السوداء) الطاقة الشمسية لتسخين المياه أو الهواء – داخل المواسير – والتى تدور خلال المبنى ويمكن لنظم التسخين الشمسى أن تغذى (توفر) – فى العادة – ما بين ٣٠ ← ٨٠٪ من الاحتياجات الحرارية للمبنى · لذا كان لابد من وجود نوع من نظم التسخين التقليدية لامداد الفارق · كما يلزم وجود نوع من وسائل تخزين الطاقة لمواجهة الفترات غير المشمسة · وفى نظام تسخين الماء الشمسى فان المياه التى سبق تسخينها يمكن تخزينها داخل خزانات كبيرة ومعزولة توضع فى أو قريبا من المبنى · وفى الامكان أن تشترى بيتا شمسيا جديدا مجهزا بالكامل أو يمكنك شراء المكونات اللازمة لبناء وتشييد نظاما شمسيا لبيت قائم فعلا · وتختلف تكلفة نظم التسخين الشمسى المنزلية حسب كل من الموقع ، طبيعة وحجم نظام المجمعات الشمسية كذلك حسب كون البيت جديد أو قديم أو ما اذا كان البيت يقيم وسائل أخرى لترشيد الطاقة أولا ·

وبالنسبة لنظم التبريد وتكييف الهواء فهى تحتاج الى حرارة لتشغيلها وهذه الحرارة – تمد – فى الأحوال العادية من خلال الكهرباء · ففى نظام التبريد الشمسى تقوم ألواح المجمعات الشمسية بتزويد (توفير) الحرارة لمولد التثليج (التجميد) Fefrigeration Generator والذى يبرد من خلال تبخير وتكثيف سائل مبرد Liquid Refrigerant دائر (يدور داخل دائرة مقفلة) · وبهذه المناسبة نذكر أن مدرسة جورج تاون الابتدائية فى مدينة أطلانطا بولاية جورجيا الأمريكية قامت – عام ١٩٧٥ – ببناء أول نظام للتسخين والتبريد الشمسى على مستوى كبير – فى العالم – والذى يخدم مساحة ٣٢٠٠٠ قدم مربع (حوالى ٢٨٨٠م٢) ·

النظم الشمسية الحرارية – الكهربائية :

تم تطوير العديد من النظم الشمسية المتقدمة بهدف تجميع حرارة الشمس لاستخدامها فى غليان الماء لادارة توربين لتوليد الكهرباء · وهذه النظم تستخدم أنواعا متقدمة Sophisticated من المجمعات الشمسية بما فيها الهليوستات – والمرايا ذات الشكل الصحنى Dish-Shaped ومرايا لقطع المكافىء Parabolic · أما الهليوستات Heliostat فهو عبارة عن مرايا مستطيلة كبيرة والتى تتبع أو تتعقب Track حركة الشمس ومن المقرر استخدامها فى محطة استقبال مركزية لتوليد القوى وتسمى هذه المحطات أيضا بمحطات القوى البرجية Power Tower Plants

والمحطة لها حقل كبير من أجهزة الهليوستات والتى تتبع (تتعقب) الشمس بالحركة أفقيا أو رأسيا وتركز ضوئها على غلاية والتى تركب على قمة برج مركزى · والبخار المولد يستخدم لادارة توربين لتوليد الكهرباء ويتولى جهاز كمبيوتر ـ والذى يحوى بيانات عن موقع الشمس (نقول تجاوزا موقع الشمس أو حركة الشمس ونقصد بها الحركة النسبية للأرض فالمعروف أن الأرض هى التى تدور حول الشمس) وتغذية هذه المعلومات لكل جهاز هليوستات والذى يتعدل وضعه ـ كلما دعت الحاجة لذلك ـ من خلال محرك كهربى · وتستخدم نظم الاستقبال المركزية هذه مبدئيا فى المحطات القائمة التى تعمل أصلا بالمازوت أو الغاز الطبيعى للمساهمة فى ترشيد الطاقة بها بادماج المكونات الشمسية مع المهمات التقليدية بالمحطة ·

ومزايا القطع المكافىء أو الصحنية تقتفى أثر أو تتعقب المجمعات الشمسية والمصممة لنوع آخر من محطات القوى والتى يشار اليها بالنظم الموزعة Distributed Systems فتقوم هذه المجتمعات بتركيز ضوء الشمس على جهاز استقبال يوضع على المجتمع نفسه وفى مواجهة برج مركزى وتنتج الحرارة أ (الكهرباء عند كل مجمع على حدة ومن ثم تتيح استخدامها فى التطبيقات المتناثرة ·

نظم الطاقة الشمسية الكلية :

وتستخدم هذه النظم المجمعات المزودة بأجهزة التوجيه أو التعقب Tracking لاستحواذ حرارة الشمس بهدف توليد الكهرباء · علاوة على ذلك فان الحرارة المتخلفة عن العملية سوف تستخدم مباشرة لانتاج بخار يستخدم فى عمليات التدفئة والتبريد أو فى العمليات الصناعية وأقامت وزارة الطاقة بالولايات المتحدة وحدة تجربية لنظام الطاقة الشمسية الشامل (الكلى) باستخدام مجمعات من النوع الصحنى فى مصنع للملابس فى « شينانده » بولاية جورجيا · ويقوم هذا النظام بتزويد المصنع بالكهرباء والحرارة اللازمة للتدفئة والعمليات الصناعية وبذلك يمكن أن يكون له مزاياه محطات التوليد المشترك ·

خلايا الضوء الشمسية Solar Photovoltaics فى الأرض والفضاء :

وهى تحول ضوء الشمس مباشرة الى الكهرباء من خلال ظاهرة تعرف بالأثر الفوتوفولطى Photovoltaic Effect · ويحدث ذلك عندما يصطدم شعاع الشمس بأشباه موصلات معنية مثل السيليكون ـ كبريتيد

الكادميوم/والجاليوم أريسنيد ـ وتمتص الذرات داخل هذه المواد ـ ضوء الشمس ـ بسببة انطلاق الالكترونات منها (من المواد طبعا) وتجمع هـذه الالكترونات الحرو عند سطح واحد من أشباه الموصـلات وتقـوم شـبكات ملامسـة (تلامس Contact Grids أمام وخلف الخلية باستكمال الدائرة الكهربائيـة لتسـمح بمرور الالكترونات أى التيار الكهربى · وجدير بالذكر فان الخلايا الشمسية السليكونية استخدمت لتوليد الكهرباء فى عدد من سفن الفضاء · وكانت معظم (عام ١٩٧٩ أو ١٩٨٠) الخلايا الشمسية تصنع من بلورة واحدة من السليكون نظـرا لتوافر عنصر السليكون علاوة على كفائتها فى تحويل ضوء الشمس الى الكهرباء · وكحالة واقعية تأخذ مثلا خلية شمسية مصنعة من شريط رفيع أو قرص من السيليكون بمساحة من ٥ الى ١٠ بوصة مربعة وكل خليـة سليكونية تنتج جهدا كهربيا أقل قليلا من ٥ر٠ فولت أما كمية التيار الكهربى فتعتمد على مساحة الخلية وشدة ضـوء الشمس · وتوصيل الخلايا الشمسية مع بعضهـا على لـوح مسـطح كبير فى المجموعات Combinations المطلوبة لانتاج الجهد أو التيار المطلوبين · ويمكن كذلك ضم (دمج) الخلايا الشمسية مع المركزات أو أى مهمات أخرى لزيادة شدة (كثافة Intensity) الضوء الشمسى المسلط على الخلايا · واستخدمت خلايا الضوء الشمسية لعدة سنوات لامداد مركبات الفضاء بالقدرة الكهربية وكذلك فى التطبيقـات الموجهة من بعـد مثل محطات مرددات (مكبرات) الراديو ـ محطات الأرصـاد الجوية و buoys (العوامات الطاقية) فى المحيطات حيث تكون الانشاءات الخاصة بالتغذية الكهربية باهظة التكلفة · ومستقبلا قد تعمم الخلايا الشمسية على أسطح المنازل والمتاجر وكذلك فى محطات القوى المركزية الكبيرة · وفى كثير من هـذه التطبيقات (الاسـتخدامات) يتطلب الأمر التزويد بمحول (مقوم عكسى) Inverter للتغيير من التيار المستمر (الذى تولده الخلايا) الى التيار المتناوب · وهنالك استخدام مستقبلى آخر للخلايا الشمسية والذى قد يتضمن ارسال كميـات ضـخمة من ألواح الخلايا الشمسية الى الفراغ فى مدار حول الأرض لانتاج الكهرباء والتى تغذى الى أجهزة ارسال الموجات المتناهية الدقيقة Microwave حيث تستقبل بالمحطات الأرضية ·

وعلى الرغم من أن الخلايا الشمسية كانت متاحة منذ عدة سنوات مضت الا أن تكلفتها العالية كانت سببا فى الحد من انتشارها · وفى هذا المجال بذلت معاهد البحوث فى الولايات المتحدة الأمريكية للوصـول بسعرها الى ما يقرب من ٧٠ سنت أمريكى لكل وات عام ١٩٨٦ · ولا شك

فان تخفيض تكلفتها مستقبلا سيجعل الخلايا الشـــمسية أحد البدائل والثـــانية الطريقـــة الخاملة

نظم التسخين والتبريد الشمسية :

لاســتغلال الطاقة الشمسية في التدفئـة هنالك طريقتـان الأولى الطريقة الفعالة Active والثانية الطريقة الخاملة Passive والطريقة الفعالة تستخدم مهمات ميكانيكية مثل المراوح والمضخات التى تدار بالكهرباء لتحسين عمليات تجميع وتوزيع حرارة الشمس · ويعمل النظام بطريقة تماثل الفـرن داخل المنزل · والمشـاكل التى تواجهها تشتمل على الحجم الطبيعى والحاجة الى تخزين للحرارة · وعلى كل حال ما زالت الطرق الفعالة غير اقتصادية بمعنى أن الوفر فى الطاقة لا يكفى لتغطية تكلفة النظام خلال فترة معقولة ·

وأما الطريقة الخاملة فقد لاقت نجاحا أكبر مقرونا باقتصادياتها · والنظام الخامل يتضمن (يشمل) على سمات تصميمية للمنزل · مثلا التوزيع الاستراتيجى للنوافذ والشراعات Overhangs والمواد العازلة فيجب توجيه المنزل بحيث يلتقط أكبر قدر من حرارة الشمس خـلال أشـهر الشـتاء وتتولى القوى الطبيعية توزيع الحرارة بدون استخدام المراوح أو المضخات ·

الكهرباء من الشمس :

هنالك طريقتـان مختلفتـان لانتـــاج الكهرباء من الشمس الأولى بالتحويل المباشر للطاقة الشمسية الى الكهرباء من خلال الخلايا الضوء الشمسية · وغير المباشرة وتسمى « برج القوى » (Power Tower) حيث يقوم حقل كبير من المرايا بتوجيه وتركيز أشعة الشمس نحو جهاز استقبال مركب على برج حيث يولد البخار لادارة توربين لتوليد الكهرباء· ومنشـآت أبراج القوى تعـرف باسم محطات توليـد كهربـاء الحرارة الشمسية Solar Thermal Electric Generating Stations ولقد تحسنت تقنية خلايا الضوء الشمسية منذ عام ١٩٥٨ عندما استخدمت عمليا لأول مرة فى برنامج للفضاء · وقبل الاعتماد على خلايـا الضـوء الشمسية لتوليد نسبة كبيرة من القدرة الكهربية لمؤسسات الكهرباء ـ أو لاستخدامها كمصدر كهربى وحيد لتطبيق منفرد لابد من ايجاد وسائل فعالة لتخزين الطاقة الكهربية · ولحين تحقيق ذلك لابد من توفير مصدر

كهربى اضافى لمواجهة فترات الغيوم والتى تحجب فيها أشعة الشمس ·
وحسب معلومات كاتب المقال فان أكبر محطة قوى فوتوفولطية هى بولاية كاليفورنيا الأمريكية والتى قامت ببناءها مؤسسة « أركو سولار وموصلة بشبكة شركة كهرباء غاز الباسفيك وتشمل على مرحلتين الأولى سعتها ٦ ميجاوات والثانية ٥ر١٠ ميجاوات · كذلك نجد محطة « سولارون » Solar-1 بصحراء موجيف بالقرب من بارستو بولاية كاليفورنيا الأمريكية وتعمل بتقنية « برج القوى » وتعمل لصالح شركة أديسون بجنوب كاليفورنيا وتبلغ قدرتها ١٠ ميجاوات ·

هنالك كذلك البرك الشمسية Solar Ponds وفكرة عملها تعتمد على اصطياد trapping حرارة الشمس فى المياه ذات الملوحة المركزة فى المستويات المنخفضة للبرك الضحلة Shallow فالمياه ذات الملوحة المركزة لا ترتفع الى أعلى وتتبخر ولا يمكنها أن تصل الى نقطة الغليان حتى فى أبرد أيام الشتاء وهذا الماء المغلى يمكن استغلاله لتدفئة المنازل ولتوليد الكهرباء · ومن أكبر البرك الشمسية - أن لم تكن أكبرها فعلا - فى الولايات المتحدة تلك القريبة من شاتانوجا بولاية يتنيسى فهى تغطى مساحة هكتار (٠٠٠ر١٠م٢) وعمقها حوالى ٣ متر وتحتوى على ٢٠٠٠٠ طن من الملح المحلل Dissolved · وقدرت التكلفة الجارية لها بحوالى ١١ دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية بالمقارنة بالرقم ٥ر١ دولار للفحم (تقريبا) ويمكن خفض التكلفة الى ما يعادل ٤ ← ٦ دولار فى حالة بركة مساحتها ١٠ هكتار (٠٠٠ر١٠٠م٢) ·

هذا وستستعرض فى الفصلين التاليين صورا لأهم الانجازات التى تمت لاستغلال الطاقة الشمسية والاتجاهات البحثية فى هذا المجال الحيوى الهام ·

الفصل الأول

الخلايا الفوتوفولطية او خلايا الضوء الشمسية

الخلايا الفوتوفولطية Photovoltaic Cells أو كما يطلق عليها أحيانا خلايا الضوء الشمسية Solar Photovoltaics هى خلايا تقوم بتحويل ضـــوء الشـــمس الى الكهرباء من خـلال ظاهرة تعرف بالأثر الفوتوفولطى Photovoltaic Effect ويحدث ذلك عندما يصطدم ضوء الشمس بأشـباه موصلات معينة مثل السيليكون ـ كبريتيد الكاديوم والجاليوم أرسنيد · تمتص الذرات داخل هذه المواد ـ ضوء الشمس ـ مسببة انطلاق الالكترونات منها (من المواد طبعا) وتجمع هذه الالكترونات الحرة عند سـطح واحد من أشباه الموصـلات وتقوم شـبكات ملامسة (تلامس) Contact Grids أمام وخـلف الخلية باسـتكمال الدائرة الكهربائية لتسمح بمرور الالكترونات أى التيار الكهربى · وجدير بالذكر فان الخلايا الشمسية السليكونية استخدمت لتوليد الكهرباء فى عدد من سفن الفضاء وكانت معظم وحتى عام ١٩٧٩ أو ١٩٨٠ الخلايا الشمسية تصنع من بلورة واحدة من السيليكون نظرا لتوافر عنصر السليكون علاوة على كفاءته فى تحويل ضوء الشمس الى الكهرباء · وكحالة واقعية نأخذ مثلا خلية شمسية مصنعة من شريط رفيع ـ أو قرص ـ من السيلكون بمساحة من ٥ ــــ ١٠ بوصات مربعة وكل خلية شمسية سليكونية تنتج جهدا كهربيا أقل قليلا من ½ فولت · أما كمية التيار الكهربى فتعتمد على مساحة الخلية وشدة ضوء الشمس · وتوصيل الخلايا الشمسية مع بعضها على لوح مسطح كبير فى المجموعات Combinations المطلوبة لانتاج الجهد أو التيار المطلوبين · ويمكن كذلك ضم (دمج) الخـلايا الشمسية مع المركزات أو أى مهمات أخرى لزيادة شدة كثافة intensity

الضوء الشمسى المسلط على الخلايا · ولقد استخدمت خلايا الضوء الشمسية لعدة سنوات لامداد مركبات الفضاء بالندرة الكهربية وكذلك على نطاق صـغير فى التطبيقات الموجهـة من بعد مثل محطات مرددات (مكبرات) الراديو ـ محطـــات الأرصاد الجوية والعـــوامات الطافيـة buoys فى المحيطات حيث تكون الانشاءات الخاصة بالتغذية الكهربائية

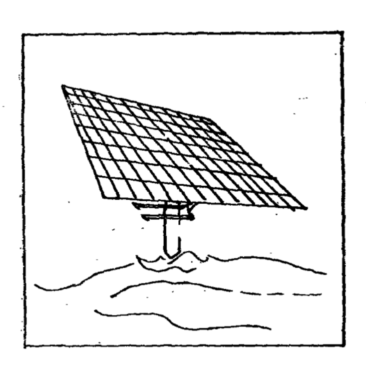
باهظة التكلفة . ومستقبلا قد تستخدم الخلايا الشمسية على أسطح المنازل والمتاجر وكذلك فى محطات القوى المركزية الكبيرة . وفى كثير من هـذه التطبيقات (الاستخدامات) يتطلب الأمر التزويد بمحول Inverter للتغيير من التيار المستمر (الذى تولده الخلايا) الى التيار المتناوب . وهنالك استخدام مستقبلى آخر للخلايا الشمسية والذى قد يتضمن ارسال كميات ضخمة من ألواح الخلايا الشمسية الى الفراغ فى مدار حول الأرض لانتاج الكهرباء والتى تغذى الى أجهزة ارسال الموجات المتناهية الدقيقة Microwave حيث تستقبل بالمحطات الأرضية .

وعلى الرغم من أن الخلايا الشمسية كانت متاحة منذ عدة سنوات مضت الا أن تكلفتها العالية كانت سببا فى الحد من انتشارها . وفى هذا المجال بذلت معاهد البحوث فى الولايات المتحدة الأمريكية للوصول بسعرها عام ١٩٨٦ الى ما يقرب من ٧٠ سنت أمريكى لكل وات . ولا شك فان تخفيض تكلفتها مستقبلا سيجعل الخلايا الشمسية أحد البدائل الاقتصادية لتوليد الطاقة .

وتولد الخلايا الفوتوفولطية ـ لحظيا ـ تيارا كهربائيا مستمرا عندما تتعرض لضوء الشمس وكلما كان الضوء أكثر اشراقا كلما زادت قيمة التيار الكهربى المولد . والخلايا الشمسية ليس لها امكانية تخزين الكهرباء التى تنتجها . والجهد الكهربى الذى تنتجه خلية واحدة يتراوح ما بين ٤ر٠ ← ٥ر٠ فولت بصرف النظر عن حجم الخلية . والتيار المنتج يتناسب طرديا مع المساحة . وللحصول على جهد كهربى أعلى توصل الخلايا على التوالى وترص Packaged encapsulat فى وحدات نمطية ومن واقع عملى تصمم الوحدة النمطية لانتاج من ٢ ← ٣ أمبير عند جهد يتراوح من ١٥ ← ١٨ فولت لشحن بطارية . والخلايا الفوتوفولطية لا تتطلب وقودا وعمرها الافتراضى يزيد عن ٢٠ عاما .

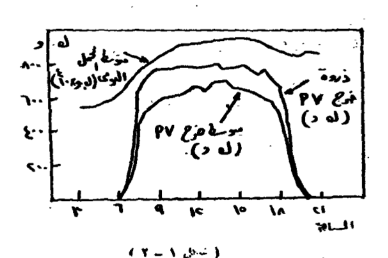
تقنيات الانتاج التجارى ـ المعروفة ـ للخلايا الفوتوفولطية :

منذ عام ١٩٧٣ نشطت صناعة الخلايا الفوتوفولطية وقدمت العديد من التقنيات هذا المجال وحدث تقدم ملحوظ خلال هذه الفترة القصيرة فى حصر هذه التقنيات التى تعطى مؤشرا أو نتائج واحدة بالنسبة للنطاق التجارى . وفى عام ١٩٧٣ تكونت ٤ شركات فقط فى الولايات المتحدة كل منها يصنع ألواح شمسية Solar Panels من بقايا المشروعات الفضائية من خلايا السليكون الشمسية (Space-rejected) وكانت



(شكل ١ ــ ١)

شكل يبين الحامل أو القاعدة لأنماط الخلايا الفوتوفولطية بمحطة أوكايو .



(شكل ١ ــ ٢)

منحنيات متوسطة الحمل اليومى وذروة الخرج الكهربى لمحطة فوتوفولطية بنظام أديسون (يونيو ١٩٨٤)

البدائل الهامة وقتذاك هى الشرائط السيليكونية Si-Ribbons والخلايا المصنوعة من الأغشية الرقيقة من كبرتيد الكادميوم وحاليا ـ حسب معلومات كاتب المقال عام ١٩٨٥ · هنالك ٦ تقنيات تعطى مؤشرات واعدة بالنسبة للانتاج التجالى واسع النطاق وهى : ـ

١ ـ البلورة الاحادية من السليكون

٢ ـ البلورة المتعددة Si

٣ ـ الشريط السليكونى المتشابك Polycrystalline Si

٤ ـ السليكون غير البلورى (غير المتبلور)

٥ ـ سبيكة كبرتيد الكادميوم/(نحاس ـ انديوم ـ سيلينيوم) $Cds/Culn\ Se_2$

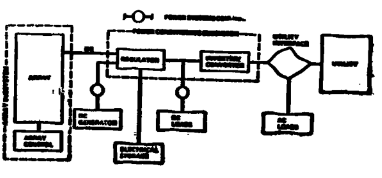
٦ ـ كادميوم تيلوريوم Cd Te

السليكون الأحادى ومتعدد البلورات :

ذكرت التقارير أنه أمكن صناعة خلايا شمسية ذات كفاءة عالية ـ فى ظروف معملية ـ أعطت ١ر١٩٪ لخلايا مساحتها ٤سم٢ · الا أن هذه النتائج لتحقيقها تتطلب سليكون غاية فى النقاء ومن ثم باهظة التكلفة مع عمليات تشغيل من نوعية خاصة ذات تكلفة باهظة كذلك ·

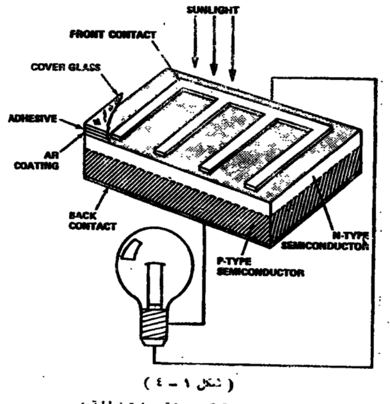
أما العمليات التقليدية بشكل أكثر ومن ثم أقل تكلفة أدت الى انتاج ألـواح مكبسلة (داخل كبسولة Encapsulated) ذات كفاءة حوالى من ١٠ ـ ١٢٪ وتبـاع الألواح بسـعر حـوالى (عام ١٩٨٥) ٧٥ر٤ دولار/وات (للسـعات الكبيرة والتى تقدره بالميجاوات) وذلك نتيجة لسعات الانتاج العالية (والتى تصل الى ٥م ·و·/سنة) ·

أما بالنسبة لألواح السليكون متعدد البللورات ـ على العكس من ذلك فان كفاءتها أقل قليلا (تتراوح من ١٠ ـ ١١٪) الا أنها تستفيد من الـوفر فى التكلفـة بتخفيض زمن التجهيز Processing Time والطاقة · كما ينتج بشكل قريب من الشكل المستطيل (سهل التركيب) وجاء فى تقرير نشر حديثا لاحدى الشركات الأمريكية (Spire Corp) ويتضمن تحليل للتكلفة لصناعة الخلايا السليكون بمعدل ٣ ميجاوات/ سنة آليا بالكامل Fully-Automated وفيـه أنه باسـتخدام البولى سيليكون Polysilicon (متعـدد البللورات) الرخيص نسـبيا (٣٠ دولار/كجم عام ١٩٨٤/١٩٨٥) وخلايا ذات كفاءة عالية (١٦٪) وألواح (١٤٪) فيمكن أن تصل التكلفة لنوعية الى ٤٥ر٢ دولار لكـل



(شكل ١ ـ ٣)

شكل توضيحي لبيان مكونات محطة فوتوفولطية لتوليــــد الطاقة الكهربائية .



(شكل ١ ـ ٤)

تركيب خلية كهرضوئية (فوتوفولطية)

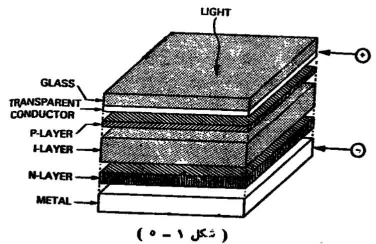
وات لهذه الألواح ٠ وهذا الرقم يمثل ٢٥٠٪ من المستهدف من الحكومة الأمريكية للوصول الى ٧ر٠ دولار/وات مقيما بدولار عام ١٩٧٩ وهذا الرقم يعادل حوالى ١ر٤٥٧ دولار لكل وات عام ١٩٨٩ ٠

الشرائط السليكونية Silicon Ribbons تنتج شركتا EFG & Web-Ribbons الأمريكيتين ألواح بكفاءة تعادل أو أكبر من ١١٪ بخلايا كفاءتها تعادل ١٦٪ ٠ والألواح من شريط الى لوحات الشرائط Ribbon-to-Ribbon Panels أعطت كفاءة ٥ر١٠٪ بخلايا كفاءتها ١٢٪ ويجرى حاليا تطوير عمليات تجهيزية أخرى للشرائط مثل عملية Edge-Supported Pulling (ESP) وعملية Long Angle Si-Sheet (LASS) وعملية Ribbon-Against-Drop (RAD) الا أنها لم تصل بعد مرحلة الانتاج التجارى ٠ والسؤال الذى يطرح نفسه هنا هو « هل يمكن لتقنيات الشرائط المختلفة أن تنضم لبعضها بشكل ما للحصول على نفس الكفاءة مثلا ولكن بسعر أقل من الرقم ٤٥ر٢ دولار/وات (لعام ١٩٨٣/ ١٩٨٥) (يعادل حوالى ٥ر٣ دولار/وات عام ١٩٨٩ ٠

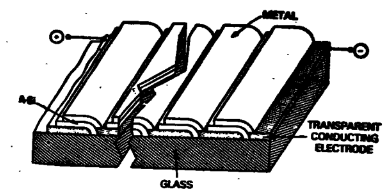
السليكون غير البللورى Amorphous Silicon : تحقق تقدم كبير فى صنع الخلايا الأولى منها عام ١٩٧٤ بالوسائل المعملية المتاحة حاليا وأمكن الوصول الى كفاءة ٥ر١١٪ ٠ وحققت منظمات أو شركات كثيرة رقما أعلى من ١٠٪ فى الكفاءة وأعلنت شركة ARCO Solar عن بيع منتجاتها من الألواح قياس ١ قدم × ٤ قدم بحد أدنى من الكفاءة ٥٪ وضمان ١٢ شهرا كما تعلن بالنسبة للألواح ذات المساحة ١ قدم مربع بكفاءة ٧٩٪ ٠ وتوجد عدة شركات ربما (ستة فقط) فى أنحاء العالم تنتج ما يطلق عليها a_{Si} الا أنه ـ عند كفاءة تزيد (أعلى) عن ١٠٪ تصبح المشكلة لهذه النوعية من المنتجات هى مشكلة الاتزان ٠

ولقد تحقق تقدم كبير لتخفيض الأحباط أو الانحطاط فى القدرة الأصلية Power Degradation الذى ينتج بفعل الضوء الساقط عليها والمعروفة باسم اثر ستايبلر ـ رونسكى (Staebler-Wronski Effect) الى ٧ ← ٨٪ فقط (كانت ٢٠٪ عام ١٩٨٠) هنالك مشكلة أخرى تواجه منتجات (Cd Te) هى التحرك من عملية التجهيز (غير المستمرة Batch Processing) ذات السرعة البطيئة الى العمليات المستمرة عالية السرعة وهى عملية ضرورية لانتاج الألواح ذات التكلفة المنخفضة ٠

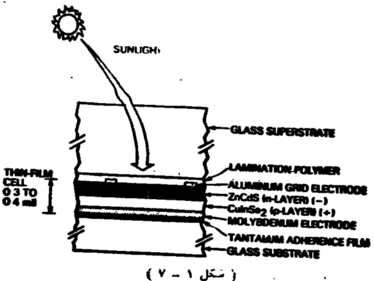
الخلايا من أنواع الأغشية الرقيقة الأخرى : هذا ما زال هنالك تقنيتان تجذبان صناع الخلايا الشمسية وهى سبائك Cd Te & CU In Se



(شكل ١ – ٥)
شكل توضيحى لتركيب خلية السيليكون اللابلورى الشمسية



(شكل ١ – ٦)
شكل توصيحى لتوصيل أو تجميع الخلية الشمسية



(شكل ١ – ٧)
تصميم لخلية فوتوفلطية من طبقة رقيقة من سبيكة (نحاس – انديوم – سيلينيوم)

ووردت تقـــارير من عدة مؤسسات تؤكد كفــاءة معملية عالية (حتى ٨ر١٢٪) • وعلى الرغم من أن هذه المواد تعطى مؤشرات واعدة بالنسبة لخصـــائص الاتزان كذلك بالنسبة لخلايا سبيكة الكادميوم/تلوريــوم Cd Te فتعطى مؤشرات طيبة بالنسبة لانخفاض التكلفة مع امكانية التجهيز للانتاج على نطاق تجارب طيب الا أنها ما زالت تثير تســاؤلات خطيرة بالنسبة لانتاجية هذه المواد وأثارها السامة والتى من الممكن أن تتفاقم أثارهــا فى حالة الانتـــاج التجارى واســع النطــاق (مستوى الجيجاوات مثلا) •

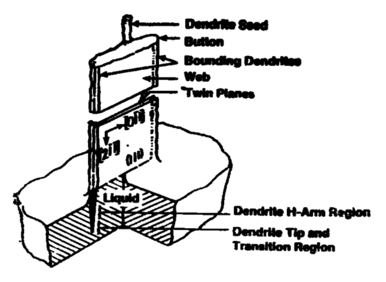
التوقعات المستقبلية لتقينات الانتاج التجارى

هنالك عوامل عــديدة أدت الى قصـــور فى التوسعــات المخططة لتسهيلات تقنية السليكون أحادى أو متعدد البللورات بدأ من انخفاض أسعار البترول الى نهـــاية فترة المزايا الضريبية التى تمنحها حــكومة الولايات المتحدة لهذه الصناعة والتى كان من شأنها (كانت سببا رئيسيا) لقيام صناعة نظم ذات أحجام كبيرة (تقدر بالميجاوات) •

وسوف يؤدى النشاط الزائد (القوى أو الكبير) فى مجال تقنيات الشرائط والمواد غير البللورية الى ظهور جيل جديد من منتجات الخلايا بالفوتوفولطية بتكلفة أقل كثيرا مما يثير المنافســة الى السوق المحدود (حاليا) لمنتجات الخلايا الفوتوفولطيـــة • والحقيقة فان التقدم الكبير الذى تحقق حديثا فى مجال تقنية السليكون غير البللورى يجعل سباق التنافس بالنسبة للجيل القادم من الألواح الشمسية Solar Panels مثيرا حقـــا •

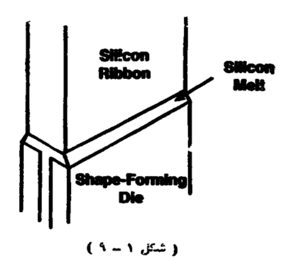
فاذا أضفنا الى ذلك التحسن الحجمى للأسواق الاستهلاكية مما حدا صناع تقنية السليكون الأحادى متعدد البللورات الى العدول الى تقنية السليكون غير البللورى ففى الحقيقة لا يمكننا التنبؤ بماذا يمكن أن تقدم لنا تقنيات الأغشية الرقيقة من مزايا لكى تنافس هذه التقنية على الرغم من أن تكلفة الخلايا الفوتوفولطية انخفض بنسبة كبيرة الا أنه ما زالت هذه الخلايا الشمسية غير اقتصادية مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى مثل المازوت والغاز الطبيعى والفحم والنووية •

فأشعة الشمس هى طاقة منتشرة (متناثرة) والخلايا الشمسية هى معدات الكترونية معقدة وتطوير مصفوفات من الخلايا بأبعاد عملية بالنسبة للانتـــاج على مستوى الميجاوات يضيف أعبــاء (اضافية) على



(شكل ١ ـ ٨)

عملية التشجير الغشـــائى



(شكل ١ ـ ٩)

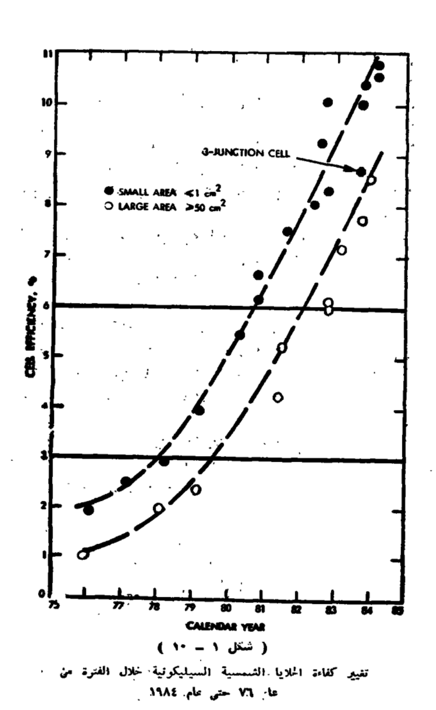
عملية النمو بتغذية الغشاء الرقيق والمحددة الأحرف

يهمنا ـ الحالى ـ للمواد الالكترونية وتقنيات تجهيزها • وتركز التقنيات الحديثة للخلايا الفوتوفولطيــة على الاســتخدامات الأرضــية (وليست الفضائية) وهذه تتخذ ٣ اتجاهات •

- الشرائط السليكونية
- الأغشية الرفيعة
- المركزات Concentrators

الشريط السليكونى Silicon Ribbon : يمكن سحب الشرائط السليكونية من مصهور بطرق مختلفة ـ لتكوين نوعية عالية المستوى من الألواح Sheets السيليكونية ذات اتساع وسمك عمليين لصناعة الخلايا الشــمسية • ومن بين الاتجاهــات المتعددة لصــناعة الشرائــط السليكونية نجد ان أثنان منها يعطيان مؤشرات واعدة جدا ـ بالنسبة لمراحل التطوير وهما : السيليكون ذى النسيج (أو الغشــاء) المتفرع أو الشجرى Dendritic-Web Silicon
و Edge-Defined Film-Fed Growth (EFG) of Silicon Ribbon --

والطريقة الأولى : والتى ابتكرتها أو طورتهــا شركة وستنجهاوس الأمريكية هى الطريقة الشريطية الوحيدة والتى تنتج حاليــا لوح من السليكون أحادى البللورة Single-Crystal وفى هذه العملية تتكون أو تشكل وحدتان من الشجيرات dendrities أحادية البللورة من بذرة أحادية البللورة وتنتشر فى الاتجاه الأســفل أى الاتجاه البللورى Crystalline الى مصهور مبرد فوق العــادة Supercooled بمعدل سحب الشريط • ويتكون غشاء من السليكون السائل بين الفرعين أو الشجرتين واللتان هما جزء من نفس البللورة • ويتجمد هذا الغشاء بسمك بضعة ملليمترات فوق المصــهور بنفس الهياكل التى تتشــكل بالشجيرات المتنامية growin _ ولضمان النمو المتزن تتكون مجموعات من المستويات الثنائية Twin Planes فى مستوى سطح النسيج أو الغشاء ولكن مدفونة داخل هذا النسيج أو الغشاء • وسطوح هذه الأنسجة أو الأغشية كلاهما عبارة عن مستويات على شكل بللورات كما هو مبين بالشــكل ١ ـ ٨ • وكمثــال لحالة تطبيقيــة نجــد أن أشرطة عرضهــا يتراوح من ٥ ـ ٦ سم تنمــو بمعــدل خطى يعــادل ١ ـ ١٥سم/دقيقة وبسمك ١٥٠ ميكرون • وكما ورد فى التقارير أنه أمكن انتاج خلايا شمسية منها بكفاءة أعلى من ١٦٪ وتقوم شركة موبيل سولار أنرجى بتطوير عملية EFG منذ أكثر من ١٠ سنوات وهى الطريقة



(شكل ١ ـ ١٠)

تغير كفاءة الخلايا الشمسية السيليكونية خلال الفترة من عام ٧٦ حتى عام ١٩٨٤

الشريطية الوحيدة المتاحة على المستوى التجارى حتى عام ١٩٨٥ (على الأقل) · وتقوم هذه الشركة بانتاج من هذه التقنية بمعدل حوالى ٢٠٠ ك · وسنويا · وعملية EFG تعتمد على قوالب شعرية (رقيقة جدا كالشعرات) من الجرافيت المبلل بالسليكون كما هو مبين بالشكل ١ ـ ٩ · وهذا القالب يغمس فى سيليكون مصهور داخل بوتقة ـ ولتكن ـ من الجرافيت · وللبدء فى نمو الشريط توضع بذرة من بللورة الشريط ملامسة لأعلى القالب المبلل ثم يبدأ السحب رأسيا · وكمثال واقعى تسحب شرائط باتساع ١٠ سم ـ بشكل روتينى باستخدام نظم النمو متعدد القوالب Multiple Die Growth وتمكنت شركة موبيل سولار كذلك من تطوير بديل أو صورة أخرى من عملية FEGوالتى أصبحت الاتجاه المفضل لعملية الانتاج · وفى هذه العملية تنمى أنبوبة سليكونية بتسعة (٩) أوجه باستخدام قالب واحد ذى ٩ أوجه ومغلق الشكل Closed-Form ويجرى حاليا سحب المواسير ذات التسعة أوجه هذه ـ كل وجه طوله ٥ سم ـ ويطول ٥ مترا أو أكثر وبكثافة سمك يتراوح من ١٥٠ ← ٣٠٠ ميكرون بمعدل نمو growth يتراوح من ٢ ← ٥ر٢ سم/دقيقة ·

وتبلغ متوسط كفاءة الخلايا الشمسية باستخدام تقنية شرائط EFG حوالى ١١٪ وأقصى قيمة ١٤٪ · والأبحاث المستقبلية الهامة لنمو الشريط سوف تختص بالتحسن المستمر فى نوعية الألواح Sheets · وأداء الخلية وصولا الى مستوى ١٩٪ كفاءة · وهذا يتطلب تفهما أعمق (أفضل) مع سيطرة على حدود الحبيبات Grain Boundaries والعيوب defects والشوائب · والمشكلة الأساسية التى يجب تحليلها بهدف تحسين تقنية الشرائط هى (نار الاجهادات/التمددات (Stresses/Strains) الحرارية على نوعية الشريط ·

تقنية خلايا الغشاء الدقيق : خلايا الغشاء الدقيق الشمسية تسخر الخواص الضوئية لأشباه الموصلات من نوع الأشرطة ذات (الفراغات Bandgap) المباشرة ومثل أشباه الموصلات هذه يمكنها امتصاص معظم ضوء الشمس المتاح لتحويله فى كثافة تبلغ ميكرون فقط وهذا خلافا لما فى حالة البللورات السليكونية (وهى نوع من أشباه الموصلات Bandgap غير المباشرة) والتى تتطلب ممرا ضوئيا Optical Path طوله حوالى ٢٠ ميكرون لنفس القدرة من امتصاص ضوء الشمس · ويوجد عدد كبير من أشباه الموصلات التى لها أشرطة فراغية Bandgap مباشرة · وخلال السنوات القليلة الماضية برز عدد قليل منها صالح

جدول ١ ـ ١ : افضـــل خلايا بالغشــاء الدقيق ـ الشمسية ذات الوصلة الواحدة Single Junction

المادة	افضل الكفاءات التى تحققت للمســـــاحات الصغيرة	المساحات الكبيرة (اكبر من ٥٪ كفاية	مجموعات البحوث الرئيسية
السليكون غير المتبلور	١٠٪ ← ١١٪	٣٧٠٠سم٢	أكثر من ١٠ يابانيين ، ٦ أمريكيين منها
(سـبيكة نحاس/انديـوم/ سيلينيوم)	١٠٪ ـ ١١٪	٩١سم٢	ARCO Solar, Boeing, SERI, IEC
(سبيكة كادميوم/تيلوريوم)	١٪ ← ١١٪	٤٨٠٠ سم٢	ماتســوشيتا ـ كــوداك ـ مونوسولار ـ أركوسولار
جاليوم ارسنايد	٩ ٪ ـ ١٠٪ متعدد البللورات	٩سم٢	جامعة سوثيرن ميثوديست
(زرنيخ)	١٩٪ (CLEFT)	١سم٢	معـامل أم ٠ اى ٠ تى ـ لينكولن

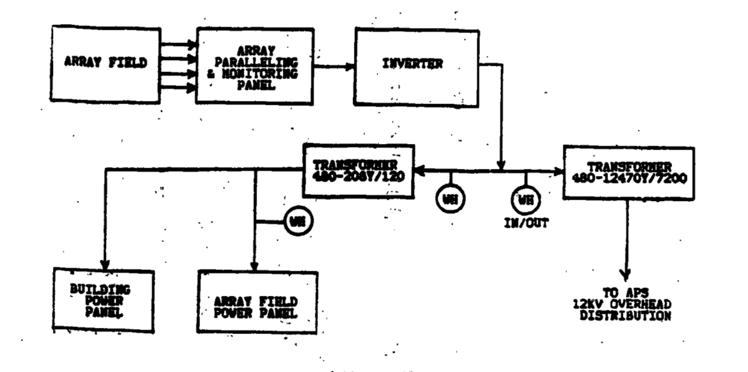
* CLEFT = Cleavage of Lateral Epitoxial Films for Transfer.

للتنفيذ منها السليكون غير المتبلور من سبيكة نحاس/انديوم/سيلينيوم Copper Indium diselenidem وسبيكة الجاليوم/زرنيخ وسبيكة الكادميوم/تيلوريوم . ويبين الجدول (١ ـ ١) الخصائص الهامة لها .

والمواد المشار اليها بالجدول (١) هي أكثر المواد نجاحا بالنسبة لتقنيات الغشاء الدقيق والجديدة والتي طورت خلال العقد الأخير . ومن بين هذه المواد نجد أن السليكون غير المتبلور يتمتع بأكبر دعم (مساندة) بما فيها ـ وعلى وجه الخصوص الجهد البحثي الكبير في اليابان . وأسباب جاذبيتها هو النجاح في ترسيبات المساحات الكبيرة باستخدام طرق التفريغ الوهاج (المتأجج) ـ الكفاءات العالية نسبيا ـ أنها تقنية تعتبر مألوفة نسبيا ـ تأسيسا على الخبرة في تقنيات السليكون الأخرى . ولقد تقدمت تقنية السليكون غير المتبلور بسرعة كبيرة منذ بدأ الأبحاث فيها حوالى عام ١٩٧٥ وظهر التحسن واضحا في كل من كفاءة المساحات الصغيرة وحجم الخلية الا أن أكبر عيوب السليكون غير البلوري هو الاحباط نتيجة الانارة (الضوء) الا أنه يبدو أن حسن اختيار المادة مقرونا باختيار التصميم الملائم للخلية ـ قد قلل من الاحباط على المدى الطويل الى نسبة معقولة . وما زال هنالك مجهودات بحثية كبيرة لحل هذه المشكلة .

وهنالك طراز أخرى من مواد الغشاء الدقيق والتي لها حيثية من حيث رخص التكلفة وهي أشباه الموصلات ذات الغشاء الدقيق متعدد البللورات polycrystalline اثنان من أكثرها نجاحا هما سبيكة النحاس/انديوم/سيلينيوم ومزاياها هي الكفاءة العالية نسبيا ـ نجاحها الأصلي في امكانية صناعتها بمساحات كبيرة واظهارها الاتزان لفترات طويلة في ظروف الاضاءة . وعيوبها الرئيسية هي ضآلة الجهود البحثية في مجالاتها والحاجة الى الوصول بتصنيعها الى المساحات التجارية (١٠٠٠ سم^{2} أو أكثر) . والجهود الرئيسية الجارية حاليا في السبيكة المشار اليها موجهة لتحسين كفاءتها ولتطوير طريقة تجارية ـ بتكلفة منخفضة لتصنيعها .

أما سبيكة كادميوم/تيلوريوم فلها تاريخ أطول من السبيكة السابقة كمادة (سبيكة) مستخدمة في صناعة الخلايا الفوتوفولطية . ولقد حققت شركة ماتوسوشيتا اليابانية نجاحا كبيرا على نطاق تجاري باستخدام هذه المادة (أو السبيكة) . وميزة هذه هي الكفاءة الجيدة ـ ترسيبها في مساحات كبيرة جدا ـ ونجاح عدد من الوسائل (الطرق) لتصنيعها بتكلفة منخفضة . وقد يمثل الاتزان مشكلة في استخدام



(شكل ١ - ١١)

شكل مبسط لتوضيح كيفية توليد واستغلال طاقة الخلايا الفوتوفولطية .

سبيكة الكادميوم/تيلوريوم · وعلى كل فلقد ورد فى تقرير من شركة ماتوسوشينا أن أنماطها لم يبدو عليها احباط ظاهر (فى الكفاءة) بعد تعريضها للشمس لمدة ٤٠٠ يوم ·

ومادة الجاليوم أرسنايد (الزرنيخ) هى مادة من نوع الثغرة المباشرة Direct Gap والتى حققت نجاحا كبيرا عند استخدامها فى الخلايا الفوتوفولطية · ولقد أظهرت خلايا الجاليوم أرسنايد Ga AS أحادية البلورة أعلى الكفاءات (أعلى من ٢٢٪) بالنسبة لأى من الخلايا الشمسية ذات الوصلة الواحدة Single Junction وتعتبر بلورات الجاليوم أرسنايد الأحادية ذات أهمية كبيرة لهياكل المركزات Concentrator Structures · وبالنسبة لتطبيقات المساحات المسطحة الكبيرة ينبغى تصنيعها بتكلفة غير باهظة ولتحقيق ذلك هنالك اتجاهات هما :

ـ تنمية ال Ga As متعدد البللورات ·

ـ تنمية الـGa As أحادى البلورة على طبقات سفلية يكرر استخدامها Reusable Substrates

والطريقة الأخيرة استخدمها معامل أم · أى · تى /لنكولن وأنتجت بها خلية ذات كفاءة عالية ويطلق عليها CLEFT

وجدير بالذكر فان مجموعة أخرى من الباحثين تقوم بانتاج بلورة أحادية من Ga As على بلورة أحادية من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) ولم ينشر بعد حسب معلومات المحرر ـ تقارير وافية منها ·

خلايا المركزات Concentrator Cells : معظم الخلايا الشمسية تتحسن كفاءة تحويلها ضوء الشمس الى كهرباء لو تم تركيز الضوء الشمسى عليها بشدة · وفى الحقيقة فان أعلى كفاءة أمكن قياسها (٢٦٪) لخلية شمسية أحادية الوصل Junction كانت لخلية الجاليوم أرسنايد وحديثا تم قياس الكفاءة ووصلت الى ٢٢٪ بالنسبة لمركز سليكونى أحادى الوصلة Junction وميزة خلايا المركزات الاقتصادية الرئيسية تأتى من حقيقة أن مساحة كبيرة من ميكاينزم تسليط أو تركيز الضوء على البؤرة Optical-Focusing الرخيص التكلفة يمكنه أن يركز ضوء الشمس على الخلية الشمسية الصغيرة المساحة · لذلك فان العنصر الضوئى يمكنه أن يحل محل مساحات كبيرة من الخلايا الشمسية عالية الجودة · ومن ثم عالية التكلفة · والخلايا الشمسية المستخدمة فى المركزات باهظة التكلفة فهى فى المعتاد عبارة عن أدوات (أو مهمات) أحادية البلورة تنمو (نامية) باستخدام طرق أو وسائل غالية التكلفة ·

والمتطلب الأول لكل المركزات هو أنهـــا ينبغى أن تقتفى أثر الشمس لتركز بؤريا Focused أشعتها على الخلية الشمسية والضـوء الشمسى المنتشر Diffuse والمنعكس من السحب أو من السماء لا يمكن تركيزه بؤريـــا Focused بالعدسات ولا يكن متاحا لعملية التركيز ويعتبر التعتيم المتســـبب من الغيـــوم (السحب) وكذلك انتشار Diffuse ضوء الشمس (حوالى ٢٠٪ من الاجمالى) من عيوب نظام المركزات ٠ ونظم المركزات متاحة حاليا على المستوى التجارى وتوجد مؤسسات كبيرة تقوم بانتاجها (حتى بضعة ميجاوات) ٠

انتاج الخلايا الفوتوفولطية والأنماط الجاهزة Modules فى الدول النامية

تنطوى الطاقة المتجددة على بعض الآمال لمقابلة الاحتياجات من الطاقة لتخفيف النزيف الاقتصادى للدول النامية ٠ ولقد اعترف العـالم بأن استغلال المصادر المتجددة ــ يعتبر حلا ممتازا لتحقيق التنمية ــ وخاصة في الأقاليم والريف ــ للدول النامية ٠ وقامت الأمم المتحدة بتنفيذ عدة برامج فى هذه الدول والتى كانت ناجحة لحد كبير كهدف الا أن هذه البرامج يبدو أنهـا ــ قد ضاع منها الطريق (كما يقول الشاعر كامل الشناوى) لتحقيق الفائدة ــ المرجوة من الطاقة المتجددة ــ على المدى الطويل ٠ فالغالبية العظمى من هذه الدول (النامية) ــ وحيث ينبغى اقامة مشروعات الطاقة المتجددة ــ لم يكن فى استطاعتها شراء ما يكفى من هذه النظم لمقابلة ــ حتى ــ القـدر اليسير من احتياجاتهـا ٠ وكان المطلوب هو اقامة قاعدة لطريقة تزويد البلاد ببعض العـــائد المـادى لاستثماراتهم فى هذه المشروعات مع تطوير « بنية أساسية اقتصادية » لها وهذه الأخيرة يمكن اقامتها بوسائل (بطرق) مختلفة ٠ لعل أوضحها هو استغلال مصادر الطاقة المتجددة بشكل ــ أو أسلوب ــ صناعى ــ بحيث يمكنها تحمل تكلفة انشاءها ٠ وهذه أخذها ــ العديد من الدول ــ فى الاعتبار ــ منذ عهد قريب جدا والتى تملك قاعدة صناعية ملائمة ٠ وهناك طريقة أخرى لاقامة هذه البنية الاقتصـادية هى أن تقوم البلد بصناعة منتجاتها وبالتالى تصدير جزء من هـذه المنتجات الى السـوق العالمية ٠ وهـذا الاتجاه الأخـير هو أكثر الاتجاهات قبولا لدى الدول النامية وعلى الأخص تلك البلاد والتى تملك قاعدة من الخبرة الصناعية وتطوير المنتجات ــ وتعتبر الخلايا الفوتوفولطية واحدة من صـــناعات الطاقة المتجددة تتميز بدرجة ثقة عالية مع فعالية فى مجالات التطبيق هذه الفعالية مقرونة بجاذبية الاتجاه التقنى (الفنى) العالى ٠ وحقيقة أن غالبية الدول النامية تقع ــ جغرافيا ــ فى مناطق تتوافر فيها أشعة

الشمس معظم فترات السنة • كل ذلك أدى الى أن تكون تقنية الخلايا الفوتوفولطية فى مقدمة اهتمامات الدول النامية • وفعلا تحققت الأمم المتحدة من ذلك عام ١٩٨٠ وبدأت عمل دراسة لاختبار جدوى اقامة وسائل لبحوث « للخلايا الفوتوفولطية في احدى هذه الدول وفعلا تم تمويله وجارى حاليا •

الاتجاهات المختلفة لصناعة الخلايا الفوتوفولطية : ممكن تحقيق ذلك بوسائل متعددة :

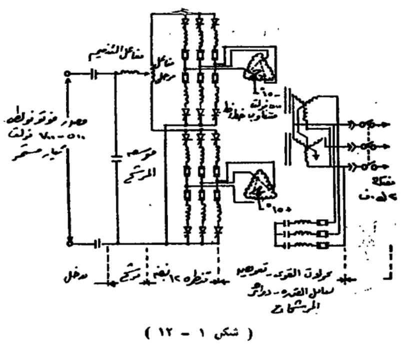
الأولى : ان تقوم شركة أو مؤسسة صناعية باقامة صناعة الخلايا الفوتوفولطية •

والثانية : أن تقوم الدولة بشراء المهمات والتقنية وتقوم بالانتاج لحسابها •

وكلا الاتجاهات يقدمان للدولة عائدا هى فى أشد الحاجة اليه لبناء قاعدتها الاقتصادية وطبعا لكلاهما مزاياه وعيوبه • فبالنسبة للاتجاه (أو الخيار) الأول فيمكن تنفيذه أما من خلال تعاقد للتشغيل أو اعادة كاملة لتنظيم عملية التشغيل • **والأولى** (التعاقد للتشغيل) هى الأكثر شيوعا حيث تمنح أجازة (ترخيص) من الصانع يسمح بموجبها للمتعاقد أن يقوم بالانتاج لفترة طويلة وقد يمكن – تحت شروط التعاقد – أن تجدول أقساط الاستثمار الأصلى لتدفع على مدى طويل أى تيسير شروط الدفع • **وبالنسبة للخيار الثانى** (صناعة تسليم مفتاح مع نقل التكنولوجيا) فهو بديل أكثر جاذبية على الرغم من انطوائه على درجة مخاطرة أكبر فى أثناء مراحل التشغيل الأولى الا انه يمكن التغلب على ذلك باقامة برامج تدريبية جيدة والمزايا الأخرى واضحة وتنبع من حقيقة ان الصناعة المحلية لهذه المنتجات سوف لا تتنافس مع الشركة الأم (حيث فى أغلب الأحيان لا تسمح الشركة الأم للصناعة المحلية بمنافستها فى الأسواق العالمية بل غالبا ما تنص على تسويقها فى سوقها المحلى فقط) كذلك فان الدولة – المستضيفة لهذه التقنية – غير مقيدة بهذه التقنية فقط بل أن الباب أمامها متسع لترتيبات امكانية نقل تقنية أخرى جديدة مستقبلا •

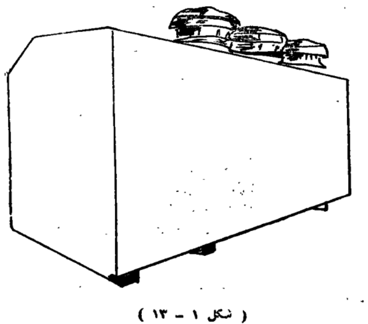
توصيل الخلايا الفوتوفولطية بالشبكات الكهربائية

بالنسبة لتوصيل محطات الخلايا الفوتوفولطية الى الشبكات الكهربية فان معامل السعة السنوى Annual Capacity Factor لا يعطى



(شكل ١ – ١٢)

مقوم عكسى ١٢ نبضة



(شكل ١ – ١٣)

الشكل الخارجى لمقـــوم عكسى ذى ١٢ نبضة قدرة ٧٥٠ ك.و .

تمثيلا دقيقا لأداء النظام فاتاحية ضوء الشمس بطبيعته لابد وأن يكون متغيرا ـ بخلاف مصادر الوقود التقليدية ـ ومن الأهمية بمكان اعتبار أن أداء المحطات الفوتوفولطية على **أساس شهرى** ٠

ومعاملات السعة السنوية المنخفضة ليست محددا أساسيا اذا كانت الاتاحية عالية عندئذ يكون حمل المؤسسة الكهربائية أعلى ما يمكن فالطبيعة النمطية Modular Nature للخلايا الفوتوفولطية تسمح بتوليد الكهرباء حتى قبل الانتهاء من بناء المحطة ومن ثم تخفيض التكاليف التمويلية ٠

والمقصود بمعامل السعة بانه نسبة الطاقة المولدة فعلا خلال فترة ما الى الطاقة التى يمكن أن تكون متاحة لو كانت المحطة عند أقصى انتاج اجمالى لها خلال هذه الفترة ٠ ولأن معظم الخلايا الفوتوفولطية لها الخصائص التالية :

ـ انخفاض كثافة القدرة المولدة لكل وحدة مساحة ٠

ـ غير قابلة للسيطرة أو التحكم ٠

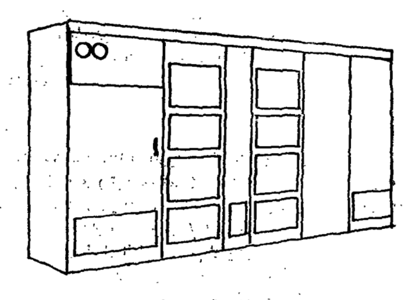
ـ غير متزنة من حيث النوعية Unstable in quality

لذلك تأخر استغلالها فى توليد الطاقة لتغذية الشبكات الكهربائية٠

ومعظم المشترين الأكثر احتمالا مستقبليا لنظم الخلايا الفوتوفولطية يبدو أنهم يؤسسون قرارهم لشرائها تأسيسا على اقتصاديات « الوفر فى الطاقة » المتوقع ٠ ويتضمن ذلك تقدير كمية الوفر فى الطاقة خلال العمر الافتراضى للنظام وحساب المعدل المقابل للعائد Rate of Return على الاستثمار ـ التدفق النقدى خلال دورة العمر الافتراضى ـ أو فترة استرداد رأس المال ٠ أما العملاء التجاريين والصناعيين الكبار فاضافة الى ذلك فهم يهتمون باقتصاديات القدرة (وليست الطاقة Power Economics فهؤلاء العملاء يدفعون لشركة توزيع الكهرباء مبلغا Demand Charges يتناسب مع أعلى ذروة للطلب خلال فترة محددة ولتكن شهر مثلا ٠

فلو أمكن لنظام الخلايا الفوتوفولطية تخفيض (شـــطف) ذروة الطلب (حمل العميل) فهذا من شأنه اقتصاد (توفير) نسبة من المبلغ المدفوع عن أعلى ذروة للطلب ٠ ومن ثم يسهم فى الاقتصاد الشامل ٠ وتهتم مؤسسات الكهرباء ـ ليست الاقتصاد فى الطاقة وكذلك تخفيض

(شظف) ذروة الأحمال فحسب بل تهتم كذلك بنوعية القدرة تحقن Injected في شبكتها الكهربائية ـ بسلامة ما لكى نظم الخلايا الفوتوفولطية ـ رجال الصيانة الذين يعملون على الخطوط الكهربائية ومهمات المحطات الفرعية المتصلة بنظم الخلايا الفوتوفولطية الموزعة ـ بالاستقرار الديناميكى للنظام الكهربى الشامل (عدم توزان أو تساوى زوايا الأطوار Phase Unbalance ـ السيطرة على التردد ـ احتمال فقد الحمل ... الخ) .



(شكل ١ ـ ١٤)

الشكل الخارجى لمقوم فوتوفولطى ـ عكسى ـ بقدرة ٥٠م و .

وكذلك بتخطيط أفضل توليفة من الوحدات للتوليد الاقتصادى Optimum Dispatch Commitment of Generation Units.

والبند الأخير يتضمن التنبؤ بالبروفيل المتوقع لنظم الخلايا الفوتوفولطية ـ الجزء من الخرج الكهربى Electrical Output الذى يعتمد على حالة الطقس ـ حساب التكلفات المجنبة Avoided Costs (التى يمكن تفاديها) نتيجة عدم اشغال وحدات توليد تقليدية لانتاج هذا الخرج .

وبالنسبة لمؤسسات الكهرباء فقبل اتخاذ قرار نهائى بشأن ادخال الخلايا الفوتوفولطية الى نظامها الكهربى ينبغى لها اجراء دراسة وافية أو القيام بالأعمال التالية :

١ ـ الاقتصاد فى الطاقة : كما ذكرنا فان هذا هو الدافع الأساسى للمستفدين من الطاقة الكهربيـة عامة وطبيعى ـ بالنسبة للمستفيد ـ لا معنى لتركيب نظـام فوتوفولطى كبير والذى ينتج قدرة أكثـر من الاحتياجات الحالية حيث أن القدرة الزائدة يمكن أن تباع الى مؤسسة الكهرباء ـ وفى العـادة بسعر أقل من السعر (القطـاعى) للكهـرباء ولنضرب مثلا على ذلك احدى الشركات ببيع الكهرباء للمستفدين بالقطاع الصناعى والتجارى بسعر يتروواح من ١٠٠ ← ١١٥ وحدة فيمكن أن يـكون السعر بالتجزأة ينراوح مابين ٧٠ ← ١٢٠ وحدة · مثـلا · وجدير بالذكر فان القوانين الأمريكيـة تحتم على مؤسسـات الكهرباء شراء القدرة المشتركة Cogenerated Power من مصـادر توليدها المتناثرة بسعر يعادل القيمة الكاملة للتكلفة المجنبة Avoided Costs ومنضرب

مثـال :

اذا كان أحد المنازل المزودة بنظم الخلايا الفوتوفولطية والمقننة على أساس ٤ ك · و (تيار مستمر) · وهذه الخلايا قامت بتوليد متوسط طاقة سنوى للمنزل يعادل ٤٢٥٢ ك · و · س (تيار متناوب) / سنة · أى متوسط ٣٥٤ ك · و · و س / شهر · واذا كان هذا المنزل لا يستخدم أو غير مشغول طوال العام ومن ثم لا يعتبر حـالة تطبيقية أو مثاليـة للأحمال المنزلية ولكن المنازل المقامة بنفس الطريقة يمـكن أن نتوقع استهلاكا لها يعادل ٨٠٠ ك · و · س / شهر على مدار العـام (هذه المنازل تمثل الانشاءات مستقبلا وهى منشأة بمعايير ترشيدية (للطاقة) عالية وبافتراض أن كل القدرة المولدة من الخلايا الفوتوفولطية تستخدم بالكامل داخل المنزل وبسعر ١٠٠ وحدة ، فمعنى ذلك أن نظام الخلايا الفوتولطية سوف يحل محل ٤٤٪ (= ٣٥٤ × ١٠٠ / ٨٠٠٪) من الحمل الكهربى للمنزل ويوفر بالتالى ٤٤ وحدة نقدية شهريا أى ٥٢٨ وحدة فى السنة · واذا أجرينا تحليل للتكلفة على مدار العمر الافتراضى لهذه الخلايا Life Cycle Cost Analysis وبأسعار المفروض أنها فى تزايد سيتضح المزايا الاقتصادية بشكل أفضل ·

٢ ـ شطف ـ او خفض حمـل (قدرة) الذروة ـ واقتصـاديات النظام الكهربى :

التكلفة الحدية Marginal Cost للكهرباء تكون أعلى ما يمكن أثناء فترات ذرى الأحمال وأقلها عند فترات الحمل الأدنى وكلما زاد التطابق

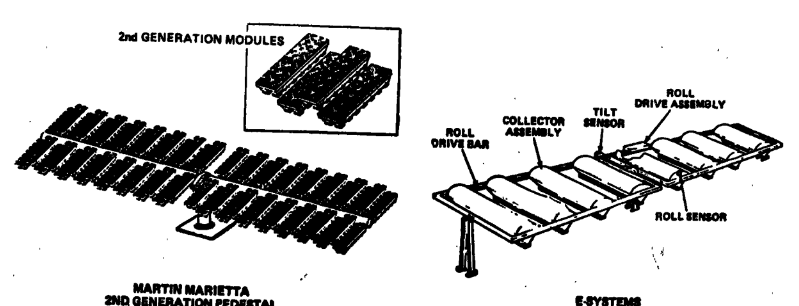
(شكل ١ ـ ١٥)

منظر خارجي لصفوفة منفردة

لانتاج نظم الخلايا الفوتوفولطية مع فترات ذروة الأحمال كلما زادت ـ التكلفة المجنبة Avoided Cost ومن ثم زاد الوفر (الاقتصاد) لصالح النظام الكهربى ويمكن أن يعود هذا الوفر على كل المستفيدين أو العملاء ٠ والعكس صحيح عندما يتطابق انتاجها من فترات الحمل الأدنى حيث أن التكلفة المجنبة تعكس فقط النفقات المخفضة لوحدات توليد الأســـاس وهذا فى حد ذاته (فى هذه الحالة) له تأثير سلبى على أرباح المؤسسة حيث يقل مبيعاتها أثناء فترة الحمل الأدنى ومن ثم الدخل (علما بأن سعر البيع للعـديد من المستفدين ـ وعلى الأخص القطـــاع المنزلى ـ غالبا ما يكون (بنفس المعدل بصرف النظر عن فترات استهلاكهم لهذه الأحمال) بنســـبة لا تتوافق مع الوفر فى النفقات (هذا الوفر يــكون بسيطا حيث يقع فى فترة الحمـــل الأدنى حيث تقل مصروفات وحدات الأساس) وهذا يفسر لنـــا سبب اعتراض بعض مؤسسات الكهربـاء لاستراتيجيات الترشيد ٠ ولكن لحسن الحظ يبدو أن انتاج نظم الخلايا الفوتولطية يسهم بقدر كبير من المشاركة أثناء فترات ذروة الأحمال فى كثير من البلاد وقد يـكون زيادة درجـــة التطابق فى التوقيت بتغير ـ أو ازاحة ـ التوجيــه السمتى Azimuthal للنماذج (أنمـــاط) التقليدية للخلايا الفوتوفولطية غربا أو شرقا وفقا للحالة ٠

٣ ـ المستوى النــوعى للقدرة المضـــافة (التى تحقن) الى الشبكة الكهربائيـــة :

تطرح مؤسسات الكهرباء فى مواصفاتها الخاصة مجموعة النفاوتات (التجاوزات Tolerances) للعديد من معايير نوعيـــة القدرة فى مواصفاتها لنظم الخلايا الفوتوفولطية الخاصة بالمنازل والمتاجر ٠ فمثلا فى هـــذه النظم فان المجموعـات الفرعيـــة لتعديـــل القدرة Power Conditioning Subsyst (PCS للتحويل من التيــار المستمر (الذى تولده هذه الخلايا) الى التيار المتناوب ـ وتزويد نظم تحكم اضافية لفصلها من الشبكة عندما تتعدى الحدود المسموح بها ـ فى كل من التردد والجهد الكهربى ٠ وتزود مؤسسات الكهـرباء خطوط الربط لهذه النظـــم بالشبكة ـ بوقايات اضافية عبارة عن لاقطات (ريلايات) Relays التردد والجهـد الكهربى تركب جهة (على ناحيـــة) مؤسسة الكهرباء لمجموعة تعديل القدرة (PCS) كذلك توضع أجهزة لمراقبة القدرة غير الفعالة Reactive Power ومراجعة التشويه التوافقى الناتج عن وجـــود مركبات توافقية فى موجة الجهد الكهربى Hormonic Distortion ٠ وفى دراسة قامت بها هيئة الكهرباء لولاية تينيسى (TVA) الأمريكيـــة



(شكل ١ ـ ١٦)

انواع (طرازات) المجمعات الفوتوفولطية التركيزية

الشهيرة بينت أن الاجمالى للتشوهات التوافقية الناتج أو المصاحب لنظم الخلايات الفوتوفولطية والتى تستخدم نظـــم القطع ذات التردد العالى Sine Wave Inverters ـ محولات الموجة الجيبية

ليست أسوء من تلك المولدة عن الاستخدامات الكهربائية الشائعة (مثل أفران الميكروويف ومراوح الشباك) • كما أظهـــرت هذه الدراسات أن اجمالى التشوهات التوافقية Total Harmonic Distortion هى ـ لحد ما ـ (أو نتوقف على كل من :

ـ نسبة تحميل مغذى التوزيع المحلى
Local Distribution Feeder

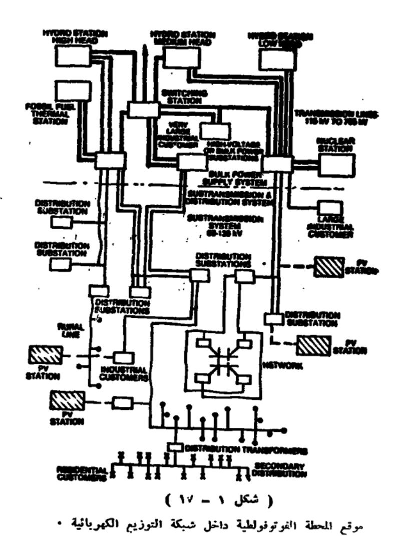
ـ طبيعة معاوقة الحمل Load Impedance

ولكنهـــا (لاتعتمـــد على) الآثـــار المنتجـة بالتأثير أو الحث Induced effects من نظم الخلايا الفوتوفولطية •

٤ ـ **سلامة الخطوط والمعدات** : أهم ما ينبغى ملاحظته هو فصل تغذية نظم الفوتوفولطية ـ آليا ـ عند ضياع اشارة مؤسسة الكهرباء Utility Signal وذلك لمنع تغذية الخط Energizing أثناء قيام عمال الصيانة الخطوط عليـه أو أى من مكونات المحطة الفرعيـــة • وهنالك تساؤل مازال يحتاج لمزيد من البحث للاجابة عليـــــه وهـــو « هل يمكن لمجموعة من نظم الخلايا الفوتوفولطية المتقاربة Proximate كهربائيا أن تخدع أحداهما الآخرين بأن توهمهم بعدم ضياع اشـــارة مؤسسة الكهرباء ـ عند حدوث الضياع فعلا ـ وبالتالى تظل أو مربوطة بالخط » ؟ وبالنسبة لهذا التساؤل تقوم مؤسسة TVA الأمريكيـة بالدراسات اللازمة للرد عليه • وحسب معلومات كاتب المقال لم ينشر بعد شىء عن هذه الدراسة •

٥ ـ **الاتزان الديناميكى للنظام الكهـربى** : قامت كل من وزارة الطاقة الأمريكية ومؤسسة TVA بدراسة تحليلية موســعة لأثر اضافة نسبة كبيرة (حتى ٣٠/ من اجمالى التوليد) مو المصادر المتناثـرة للنظام الكهربى Dispersed Generation Sources (DGS) على الاتـزان الديناميكى وتضمنت خلاصة الدراسة الملاحظات التالية :

ـ يمكن ـ بشكل عام ـ ادماج وحدات التوليد المتناثرة مع النظام الكهربى لمؤسسة TVA دون تأثير على تكامل النظام (تماسـك) System Integrity • وعلى كل فقـد ورد فى تقرير الدراســة أنه

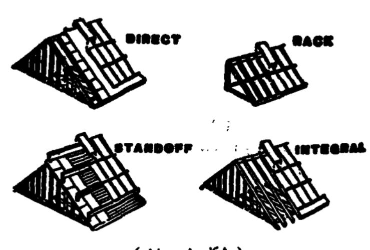


(شكل ١ ـ ١٧)

موقع المحطة الفوتوفولطية داخل شبكة التوزيع الكهربائية ٠

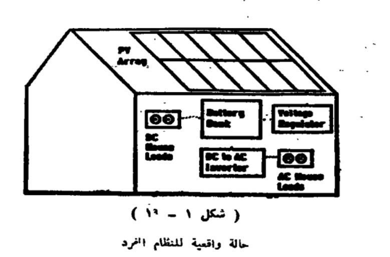
« يوصى بألا تزيد نسبة وحدات المصادر المتناثرة عن ١٥٪ من اجمـــالى سعة التوليد فى النظام ضمانا لحسن أداء نظم التحكم فى تردد النظام الكهربى » ٠

ـ تم تمثيل دراســات تدفق القدرة (سريان الأحمـــال) والتى فيها تم السماح بخفض ٢٠٪ من سعة الوحدات المتناثرة لفترة زمنية قصيرة ومنها تقرير أن النظام الكهربى (والذى يتبع Follows)) الحمل من خلال مولدات كهرمائية سريعة الاستجابة) يمكن أن يضبط نفسه دون فقد للاتزان ٠ وينبغى أن نشير هنا الى أن امكانيـــة (استطاعية) تغذية النظام لقدر من الحمل الكهربى يتوقف على كل من : مزيج وحدات التوليد ـ بروفيل الحمـــل ـ ســـياسة التزام كل وحدة توليـــد Unit Commitment وخلاصة هذه الضرورة لاتنطبق ـ بالضرورة ـ على النظم الكهربيـة فى جميع المؤسســـات (على الرغم من أن الطرق المستخدمة فى الأبحاث تنطبق) ٠ وفى بعض حالات الدراســـة اقتضى الأمر اعادة ـ أو مراجعة ـ تصميم نظم التوزيع الكهربائية كضرورة لضم الوحدات المتناثرة الى شبكة النظام وهذه التعديلات وردت فى تقـــرير الدراسة ٠ كما ناقش التقرير كذلك بعض مؤشرات النوعية الأخـــرى مثل : التحكم فى الجهد والقدرة غير الفعالة ـ الدوائر المنطقيـة لأجهزة المتممات Relay Logics لبدء التشغيل والايقاف ٠٠ الخ ٠



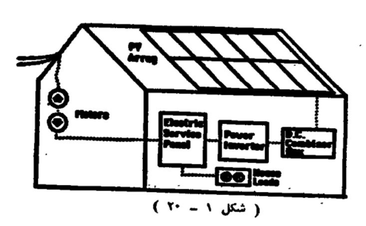
(شكل ١ ـ ١٨)

طرق تركيب مصفوفات الخلايا الفوتوفولطية ٠



(شكل ١ - ١٩)

حالة واقعية للنظام المفرد



(شكل ١ - ٢٠)

حالة واقعية لنظام تفاعلي

الا أن أحد التساؤلات الكبرى والذى لم تحدد اجابته بعد وهـو « احتمالات وآثار حالات عدم توازن الأوجه أو الأطوار3-Ph. Unbalance طويلة المدى ـ فى نظام الثلاثة أوجه مع توصيل الوحدات المتناثرة عبر الأوجه المختلفة » • فأوضاع عدم التوازن بين الأوجه يمكن أن يتسبب فى تيارات كبيرة تسرى فى نقط ـ أو موصلات التعادل neutral currents مسببة فى تباين كبير بين الجهود الكهربية للأوجه وهذا قد يؤدى الى حدوث انهيارات فى كل من المعدات الميكانيكية والالكترونية •

النظم المعاونة (الفرعية) لتعديل التيار لمحطات التوليد الفوتوفولطية المركزية ـ التقنية والأداء

ـ وضعت وزارة الطاقة الأمريكية ـ قسم الخلايا الفوتوفولطية ـ خلال خطتها الخمسية (١٩٨٤/١٩٨٩) برنامجا بحثيـا يسـتهدف الوصول الى نظام معاون لتعديل التيـار لمحطـات التوليـد المركزية Central Station Power Conditioning Subsystem "CS-PCS" بكفاءة ٩٨٪ والذى يتكلف ـ فى الانتاج الكمى ـ ما يعادل ٠٧ر٠ دولار لكل وات • وتحقيق هذا الهدف سوف يساعد القوى الفوتوفولطية لتكون منافسة ـ من الناحية الاقتصادية ـ لمصادر التقليدية لتوليد الكهرباء •

ـ ومحطـة التوليـد الفوتولطية المركزية هى محطـة متفاعلة Interactive مع مؤسسة الكهرباء ومن نظـم التوليـد المتناثرة Dispersed Generation لذا لكى نتفهم المتطلبات التصميمية للنظم "CS-PCS" ينبغى مراجعة المتطلبات الفنية للنظم الفوتوفولطية المتفاعلة مع مؤسسة الكهرباء ونظمهـا المعاونة • والنظم الفوتوفولطية المتفاعلة مع مؤسسة الكهرباء تتكون من مجمـوعة (تشـكيلة) مـن النظم الفرعية :

ـ المنظومة الفرعية لصفوفة الخلايا الفوتوفولطية •

ـ منظومة فرعية لتعديل التيار PCS

ـ منظومة فرعية للربط بشبكة مؤسسة الكهرباء (النظـام الكهربى) •

ـ منظومة فرعية للتحكم •

وتقوم المنظومة الفرعيــة لصفوفات الخلايا الفوتوفولطية بتحويل الطاقة الشمسية الى تيار مستمر حيث تسـلم هذه القدرة الى **المنظومة الفرعية لتعديل** التيار PCS خلال أقران التيار المستمر DC. Interface كذلك تقوم **المنظومة الفرعية لصفوفة** الخلايا الفوتوفولطية بالتزويـد بالوقاية والعزل الكهربى ـ الضرورى ـ ما بين PCS والمصفوفة • وقد تحتوى على أجهزة تجارب لمراقبة أداء المصفوفة • **وتقوم المنظـومة الفرعية للربط بالشبكة** ـ من خلال أقران التيار المتناوب مع PCS بعملية التوافق Synchronization مـع الشبكة وكذلك ـ عنـد الضرورة ـ تعمل لعزل نظام الخلايا الفوتوفولطية ـ كهربائيـا ـ عن الشبكة وتتنبأ (ترى مسبقا) المنظومة الفرعية للتحكم ـ والتى تعمل من خلال PCS ـ بأداء نظام الخلايا الفوتوفولطية المتكامل • كما أنها تمكن من التنسيق الشامل للوقاية للنظام والاتصال لاستحواذ البيانات مع مركز التحكم للشبكة • وعند الرغبة تقوم بتزويد المعلومات وحلقة التغذية العكسية Feedback Doop مع مصفوفة الخلايا الفوتوفولطية• وفى المحطات الفوتوفولطية المركزية يمكن أن تقوم PCS بتجهيز الأوامر التشغيلية الصادرة من مركز تحكم الشبكة •

وعند عملها تقوم PCS بالأعمال التالية :

ـ تحويل القدرة من التيار المستمر الى تيار متناوب •

ـ تعمل على استخلاص أفضـل كمية ممكنـة من القدرة ـ من مصفوفة الخلايا الفوتوفولطية فى الظروف البيئية المحيطة •

ـ توليف التردد وزاوية الطور (الوجه) للجهد وفقـا لرغبـة مؤسسة الكهرباء •

ـ التزويد بالوقاية اللازمة ـ ليس للمكونات الداخلية فحسب ـ بل المهمـات خـارج الـ PCS ولتحقيق التوافق المتكامل لنظم الخلايا الفوتوفولطية مع الشبكة الكهربية فينبغى أن يكون تصميم PCS يلائم النطاق (المدى) الدينـاميكى للتفاعلات بين نظـام الخـلايا الفوتوفولطية والشبكة والذى يتأتى نتيجة التغيرات فى كل من ظروف الشبكة والخرج Output من مصفوفة الخلايا • ويتطلب الربط الآمن والمناسـب لمنظومات الخلايا الفوتوفولطية الفرعيـة ليس تشخيص المحددات الوظيفيـة المتبادلة Mutual Functional Constraints بل نعرف كيفية اختيار أو تصميم نظم الخلايا الفوتوفولطية فى نطـاق (خلال) هذه المحددات • لذلك فان هذه المحددات لهـا أهميـة فى

اختيار وتقييم PCS المناسب لنظم الخلايا الفوتوفولطية للمحطات المركزية ٠

فرص للتصميمات الجديدة : لحسن الحظ جاء الابتكار الفنى فى PCS فى الوقت المناسب تماما ألا وهو ابتكار وتطوير الثايراستور الكبير (أحجام تصل الى مستوى ١٠٠ ميجاوات) من النوع (GTO) Gate Turn Off ومهمات التشغيل والفصل Switching السريعة وفتح هذا التطوير الباب لإتجاهات جديدة لانتـــاج PCSs كبيرة ــ ومقبولة اقتصـــاديا ــ لتطبيقات نظـــم الخلايا الفوتوفولطية ٠ وهذه الوحدات الكبيرة أعطت الأمل للصناع الأمريكيين للوصول الى الأهداف التى حددتها وزارة الطاقة الأمريكية ٠ والثايراستور من نوع GTO ــ كمهمات متقدمة تقنيا ــ متاحة على نطاق تجارى فى اليابان (وأن لم تنتج بعد فى الولايات المتحدة الأمريكية حتى عام ١٩٨٥ على الأقل) وفعلا يقوم اليابانيون بانتاج وحدات لتعديل القـــدرة (من تيـــار مستمر الى متنلوب) من الحجم الكبير (عدة ميجاوات) باستخدام تقنية GTO ويعترف الأمريكيون بتخلفهم ــ بالنسبة لليابان فى صـــناعة وتطبيقات GTO ام الموصـــلات لأغراض القوى عامة ٠ علاوة على ذلك هنالك أداة جديدة تسمى Static Induction Thyritsor (SIT) (ثايراستور الحث الاستاتيكى) والذى يقـــدم لنا فرص جديدة للأجيال القادمة من أجهزة تعديل القدرة PCSs وخلاصـــة القول نقول أن الأنواع الجديدة من أشباه الموصلات مثل GTO & SIT هى تقينات واعدة وتعطى الأمل وتفتح الآمال لصناعة أجهزة تعديل القدرة PCSs بتكلفـــة منخفضة مع تحسين فى تكلفة الطاقة للعملاء ٠ هنالك تقنية أخرى وهى تقنية Pulse Width Modulation-PWM والخاصة بنظم تعديل القدرة الكبيرة والتى لم يتم تنفيذها (حسب معلومات الكاتب) وينبغى فحصها بالنسبة لاستخدامها فى PCSs ٠ وفى هذه التقنية بجعـــل الحاجة لترشيح الخرج Filtering the Dutput لنظم PCSs أقل ما يمكن من شأنه دعم التكامل لهذا النظام وتحريره من أسباب التعطل Truble Free وباستخدام مثل هذه النظم PCSs سيكـــون هامش الاتـــزان لحلقـــة النظام أعلى ما يمكن وسيكون من شأن امكانية تحقيق PCS ذات تكلفة معقولة مقرونا بسجل يخلو من مشاكل التشغيل لهذه النظم ــ زيـــادة إهتمام مؤسسات الكهرباء لاستخدام نظام الخلايا الفوتوفولطية كمـــا ستزيد بالتالى من مبيعات عالميا ٠

SOLAR CELL – THE BASIC PHOTOVOLTAIC DEVICE WHICH GENERATES ELECTRICITY WHEN EXPOSED TO SUNLIGHT.

MODULE – THE SMALLEST COMPLETE, ENVIRONMENTALLY PROTECTED ASSEMBLY OF SOLAR CELLS, OPTICS AND OTHER COMPONENTS, EXCLUSIVE OF TRACKING, DESIGNED TO GENERATE DIRECT-CURRENT POWER UNDER SUNLIGHT.

PANEL – A COLLECTION OF MODULES MECHANICALLY FASTENED TOGETHER, WIRED, AND DESIGNED TO PROVIDE A FIELD-INSTALLABLE UNIT

ARRAY – A MECHANICALLY INTEGRATED ASSEMBLY OF MODULES OR PANELS WITH A SUPPORT STRUCTURE AND FOUNDATION, TRACKING, THERMAL CONTROL, AND OTHER COMPONENTS, AS REQUIRED, TO FORM A DIRECT-CURRENT POWER-PRODUCING UNIT.

PHOTOVOLTAIC POWER SOURCE – AN ARRAY OR AGGREGATE OF ARRAYS WHICH GENERATES DIRECT-CURRENT POWER AT SYSTEM VOLTAGE AND CURRENT

PHOTOVOLTAIC SOURCE CIRCUIT – CONDUCTORS BETWEEN MODULES AND FROM MODULES TO THE COMMON CONNECTION POINT(S) OF THE DIRECT-CURRENT SYSTEM.

PHOTOVOLTAIC OUTPUT CIRCUIT – CIRCUIT CONDUCTORS BETWEEN THE PHOTOVOLTAIC SOURCE CIRCUIT(S) AND THE POWER CONDITIONING UNIT OR DIRECT-CURRENT UTILIZATION EQUIPMENT

POWER CONDITIONING UNIT – EQUIPMENT WHICH IS USED TO CHANGE VOLTAGE LEVEL OR WAVEFORM OR BOTH OF ELECTRICAL ENERGY COMMONLY A POWER CONDITIONING UNIT IS AN INVERTER WHICH CHANGES A DIRECT-CURRENT INPUT TO AN ALTERNATING-CURRENT OUTPUT

POWER CONDITIONING UNIT OUTPUT CIRCUIT. CONDUCTORS BETWEEN THE POWER CONDITIONING UNIT AND THE CONNECTION TO THE SERVICE EQUIPMENT OR ANOTHER ELECTRIC POWER PRODUCTION SOURCE SUCH AS A UTILITY

SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM – THE TOTAL COMPONENTS AND SUBSYSTEMS WHICH IN COMBINATION CONVERT SOLAR ENERGY INTO ELECTRICAL ENERGY SUITABLE FOR CONNECTION TO A UTILIZATION LOAD

INTERACTIVE SYSTEM. A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM THAT OPERATES IN PARALLEL WITH AND MAY BE DESIGNED TO DELIVER POWER TO ANOTHER ELECTRIC POWER PRODUCTION SOURCE CONNECTED TO THE SAME LOAD. FOR THE PURPOSE OF THIS DEFINITION, AN ENERGY STORAGE SUBSYSTEM OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM, SUCH AS A BATTERY IS NOT ANOTHER ELECTRIC POWER PRODUCTION SOURCE

SOLAR CELL
PANEL FRAMEWORK
MODULE
PANEL
ARRAY STRUCTURE
ARRAY
ROAD
DC WIRING
PHOTOVOLTAIC POWER SOURCE
POWER CONDITIONING UNIT
AC WIRING
ROADS
PLANT SWITCHYARD AND BUILDING
SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM
PHOTOVOLTAIC CENTRAL POWER STATION

MODULE
PANEL
ARRAY
POWER CONDITIONING UNIT
POWER CONDITIONING UNIT OUTPUT CIRCUIT
PHOTOVOLTAIC OUTPUT CIRCUIT
PHOTOVOLTAIC SOURCE CIRCUITS
SOLAR PHOTOVOLTAIC CIRCUITS

شكل (١ ـ ٢١)

بيان مكونات ووظيفة كل عنصر ـ فى الخلية الكهرضوئية

(الشمسية أو الفوتوفولطية)

استقراء المستقبل لصناعة الخلايا الفوتوفولطية فى القرن الحادى والعشرين

ـ بنهاية هذا القرن سيتسع استخدام المعدات أو الآلات الشمس كهربية والتى تستخدم خلايا الغشــاء الدقيق الفوتوفولطية ٠ وجدير بالذكر أن أول محطة كهربية ـ على مستوى الميجاوات والتى تعمل بالخلايا الفوتوفولطية بدأت العمل عام ١٩٨٢ لحساب شركة أديسون لجنوب كاليفورنيا وتنتج هذه المحطة ٩٥٪ (عام ١٩٨٥) من قدرتها الأصلية ٠

ـ **وسيناريو الطاقة عام ٢٠٠٠** : المتوقع أن تزيد الضغوط على صناعة الطاقة للحد من استهلاك (أو حرق) أنواع الوقود الحفرية ٠

كذلك سيدخل الخدمة نوعيات من بطاريات التخزين أفضل وعلى شكل بطاريات محسنة بدرجة كبيرة قبل بداية القرن الحادى والعشرين٠ ولاشك فان اســتخدام محطات الدورة المركبــة ـ والتى تولد كلا من الحرارة المفيدة والطاقة الكهربية فى نفس الوقت سيكون شائعا والاتجاه الى استغلال أفضل للآلات الحرارية زائد استخدام الآلات المعزولة ذات الحرارة العالية والتى تستخدم أجزاء مصنعة من السيراميك ستساعد على تحريك الوقود المحترق قريبا من مستفيدى الطقة الحرارية والكهربائية ٠ وهذا الاتجاه يعاكس ـ على طول الخط ـ الاتجاه الخاص بعزل المحطات النووية فى مواقع نائية وسيصبح الفحم والغاز الطبيعى همـا أنـواع الوقود المفضلة بالنسبة لمحطات التوليـــد التقليدية عــام ٢٠٠٠ ولكن ستستغل حرارة العادم أثناء توليد الكهرباء ٠ وبحلول عام ٢٠٠٠ فان استخدام نظم الحرق التطبيقية للفحم والتى تستخدم المهد المميعة والمحول الحفاز Catalytic Converter سيكون من شأنه زيادة الاقبال على الفحم وسوف تقام (تركب) مولدات للقدرة المشتركة Cogenerators صغيرة الحجم والتى يمكنها حرق الفحم قريبة من المواقــع السكانيـــة وستوصل هذه المحطات الصغيرة بالشبكة الكهربائية وسوف تلجأ بعض الحكومات لاصدار التشريعـــات التى تمنع حرق الوقود الحفرى دون استغلال (بدرجة عالية) لكل من الطاقة الكهربائية والحرارية أما أنواع الوقود السائل (مثل الجازولين والديزل) سوف تختزن لاستخدامها فى النقل (الســيارات والطائرات ٠٠٠ الخ) وفى المنتجات الكيماوية ٠ بل يمكن أن يشهد أوائل القرن الحادى والعشرين عودة قاطرات السكك الحديدية التى تعمل بالفحم فى العديد من الدول (بما فيها الولايات

المتحدة) حيث أن الفحم ينقل داخليا ـ بريا ـ بالقطارات فماذا يمنع اذن من استخدام الفحم لتشغيل القطارات ؟ ٠

وبالنسبة للخلايا الشمسية : ففي خلال العشرين سنة الماضية انتقلت تقنية الخلايا الفوتوفولطية من تجارب صغيرة الى محطات سعتها تقدر بالميجاوات يمكن تركيبها (انشاؤها) في أقل من عام واحد ٠ وخلال هذه العشرين سنة الماضية حاولت صناعة الكهرباء ـ وفشلت لحد كبير ـ في التنبؤ بمكان (بموقع) وقيمة الطلب على الأحمال الكهربية بشكل دقيق ٠ وهذا الفشل لادارات التخطيط (في الولايات المتحدة نفسها) مقرونا بفشل أكبر للتنبؤ بتكلفة وزمن تركيب المحطات النووية كل ذلك غير من عقليات (مفاهيم) معظم مؤسسات الكهرباء الأمريكية ٠

ـ وقبل حلول القرن الحادى والعشرين سوف يطرح بكميات هائلة بالأسواق خلايا شمسية ذات كفاءة عالية (٢٠٪ مثلا) بتكلفة ١ دولار / وات (أقصى حمل) ٠

توصيف لسوق الطاقة

ـ تتوقف الخلية الشمسية عن توليد الطاقة الكهربائية عندما تغرب الشمس ولكنها ـ وبشكل آلى ـ تعود ثانية للعمل في اليوم التالى وهكذا كل يوم دون تدخل بشرى ٠ وتستخدم بطاريات (ذات امكانية اعادة الشحن) في النظم الفوتوفولطية لتخزين الطاقة ليلا وفى فترات غياب الشمس عامة ولأجل ذلك كانت الخلايا الشمسية ـ عند بداية العهد لها ـ شائعة الاستخدام في الجهات النائية حيث لايتوافر الوقود أو في المواقع التى تعمل بشكل تلقائى دون ملاحظة من البشر Unattended وتكلفة الكهرباء المولدة بآلات ديزل صغيرة تتراوح ما بين ٠٫٧٥ ـ ١٫٠ دولار/ك٠و٠س حسب تكاليف نقل الوقود ٠

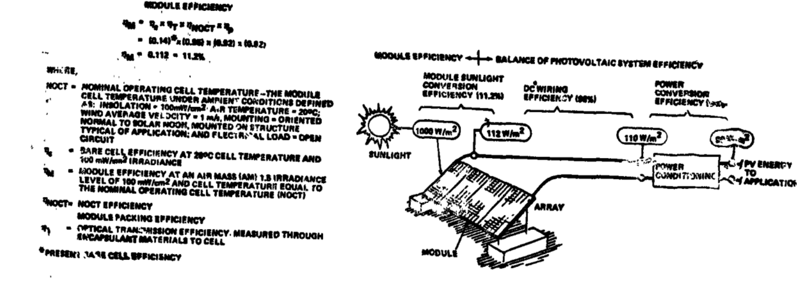
وفيما مضى كان السوق الرئيسى للخلايا الفوتوفولطية يتركز حول احلالها مكان آلات الديزل وهنالك مجموعة أخرى من العملاء ـ والذين يدفعون أكبر كثيرا ثمنا للطاقة الكهربية ألا وهى مجموعات التى تعتمد على شراء البطاريات الجافة ذات العمر القصير فعلى سبيل المثال يدفع مستخدمو البطاريات من الحجم "D" والتى يبيعها مخازن "K-mort" في ـ لوس أنجلوس بما يعادل ١٧٧ دولار/ ك٠و٠س٠٠٠ ؟ حيث أن

بطاريتان من هذا الحجم تكلفتها ١٫٩٩ دولار وتعطى حوالى ١١ وات . ساعة من القدرة على طول عمرها الافتراضى وهو ٢٠ ساعة مثال آخر بطاريات الراديو الترانزسستور (٩ فولت) والتى تعطى قدرة بمعدل ٣٠٠ دولار لكل ك٠و٠س٠ وهكذا ويقدر حجم البطاريات المستهلكة فى الولايات المتحدة الأمريكية وحدها بحوالى ٤ بليون دولار سنويا نصفها من مبيعات شركة « يونيون كاربايد » .

وبابتكار تقنية الغشاء الدقيق لصناعة الخلايا الشمسية رخيصة التكلفة كان هنالك اتجاه ـ بدأ من اليابان ـ نحو تصميم خلايا شمسية فى داخل المنتجات لتحل محل البطاريات الجافة وبانخفاض أسعار المهمات خلال السنوات القادمة ستصبح الخلايا الفوتوفولطية أكثر جاذبية اقتصاديا ـ لعدد متزايد من التطبيقات . وعندما يصل سعر الوحدة Module الواحدة أقل من ٤ دولار / وات (أقصى قدرة) تصبح الخلايا الفوتوفولطية منافسة ـ وبشكل كبير ـ مع الآلات التى تعمل بالوقود الحفرى ومضخات المياه . وفى النطاق ٢ الى ٣ دولار/ك٠و ـ فانها تصبح منافسا حقيقيا للطاقة الكهربية المشتراه من شركات الكهرباء ـ فى العديد من مناطق الولايات المتحدة .

وحتى مشكلة الطقس ـ وتلبد السماء بالغيوم ـ سوف تحل بالنسبة للخلايا الفوتوفولطية فى القرن القادم . فبابتكار الوصلة الترادفية Tandem Junction سوف يمكن للمصفوفات وحدات الغشاء الدقيق ـ ذات الكفاءة ٢٠٪ ـ أن تتبع Follow المنطاد Aeiostat الشمسى . حيث سيكون التصور الخاص بتعويم المصفوفة ـ المكونة من خلايا الغشاء الدقيق ـ فى الهواء ـ سيكون واقعا ـ بل شيئا عاديا بعد عام ٢٠٠٠ ـ بل هنالك تنبيه ـ (تحذير) لشركات القوى الكهربية الأمريكية باحتضان (تبنى) مشروعات الخلايا الفوتوفولطية والمنطاد (القمر الصناعى لتجميع أشعة الشمس وبثها للأرض) فان شركات الفضاء سوف تجد أمامها فرصة كبيرة جدا لدخول هذا المجال ومن ثم سيكون الفضاء هو أنسب موقع لاختيار محطة توليد الكهرباء .. نعم فالخلايا الفوتوفولطية لاتحتاج الى وقود يأتى للمحطة فى قطار (كالفحم مثلا) أو فى أنابيب (كالنفط والغاز وأحيانا الفحم بشكل مولاط (Slurry) لذلك لماذا اذن الحاجة لبناء المحطة على الأرض وليس فى الفضاء .. ؟

وتشير الدراسات المبدئية بأن حجم (مبيعات) الخلايا الفوتوفولطية فى الولايات المتحدة يقدر بما يتروواح من ٦ ← ٩٫٢ بليون



(شكل ١ - ٢٢)
شكل مبسط لبيان كفاءة (جودة) النظام الفوتوفولطى

دولار سـنويا مع بداية القـرن الحادى والعشرين • وتجمع الخلايا الفوتوفولطية فوق طبقات زجاجية لتكوين وحدات نمطية Modules ولقد اختير الزجاج كحامل بيىء فعال اضافة عن اعتباره عضو فى هيكل الخليـة Structural Member

وسواء كانت النظم المستقبلية ستظل عبارة عن تصميمات لألواح مستوية Flat Panels أو ستتغير الى التصميمات التركزية Concentrating أى النظم التى توجه أو تركز Focus مساحة كبيرة من ضوء الشمس الى مساحة أقل كثيرا أى الخلية الفوتوفولطية ـ ليست فى الوقت الحالى مسألة ملحة فسوف تحدد الاقتصاديات أى الخيارين سيبقى •

الفصل الثانى

الاستخدام الحرارى للطاقة الشمسية

أولا : التسخين والتبريد الشمسى

آلات الامتصاص Absorbtion والتى تستخدم فى التسخين ـ التبريد والتجميد Refrigeration تبدى خصائص أنها تشتغل أو تعمل بالطاقة الحرارية • ومن الناحية التاريخية استخدمت الطاقة الحرارية من كل من الرتبة العالية والنوعية المنخفضة لادارة هذه الآلات فعلى سبيل المثال فان البخار ذى الضغط المنخفض والماء الساخن بفعل المجمعات الشمسية هى أمثلة المصادر ذات الرتبة المنخفضة والشائعة الاستخدام بينما منتجات الاحتاق من الغاز الطبيعى هى مصادر من الرتبة العالية • وحتى يمكن الاستغلال الكامل للاتاحية الحرار ـ ديناميكية للغاز الطبيعى تقوم وزارة الطاقة الأمريكية بتطوير دورات امتصاص متقدمة • ويتوقع لهذا الجيل الثانى من الآلات أن يصل الى معاملات أداء حرارية Heating Coefficient of Performance (COPs) تترواح ما بين ٦ر١ الى ٨ر١ والى معاملات أداء تبريد Cooling COPs تترواح ما بين ٧ر٠ الى ٠ر١ •

ولتحقيق هذا المستوى المرتفع من الكفاءة الحرارية ينبغى أن تعمل بعض أجزاء الآلة عند درجات حرارة عالية نسبيا • وأحد المشاكل الناتجة عن ـ أو التى تتمخض عنها هذه الحقيقة ـ أنه وفى أغلب الأحيان ـ تكون خصائص الموائع عند درجات الحرارة العالية غير معروفة أو قد تكون معروفة ولكن بدقة ضئيلة (قليلة) • وفى معظم الحالات تكون دقة بيانات الحرارة العالية ليست بنفس جودة بيانات الحرارة المنخفضة • ولكى نحسن هذه الدقة يستدعى الأمر للقيام بقياسات تجريبية باهظة التكلفة •

ولعل أهم المتغيرات التى تحدد أداء آلات الامتصاص هى كل من النسبة الدورانية Circulation Ratio لهذه الآلات وكذلك معامل

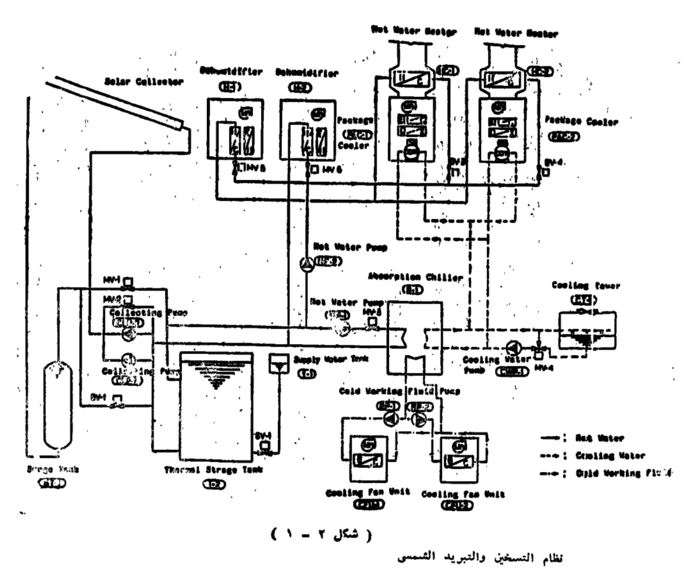
الأداء (COP) والأولى ـ أى النسبة الدورانية ـ هى كمية المحلول الشغال والذى ينبغى تدويره بواسطة المضخات لامتصاص وحدة كتلة واحدة من وسيط التجميد refrigerant بينما الثـانى ـ اى معامل الأداء ـ فهو نسـبة الحرارة المستخلصة من الحيز الذى يراد تبريده والحرارة المستخدمة لتشغيل أو ادارة الوحدة • ومن ثم ـ ولسعة معروفة أو معطاة ـ فان النسبة الدورانية تتناسب مع حجم المضخات ـ المحركات والمبادلات الحرارية الملامسة In Contact with للمحلول علاوة على ذلك ـ ولسعة معروفة أو معطاة فان حجم بعض المبادلات الحرارية وكذلك التكلفة الجارية تتناسب عكسيا مع معامل الأداء •

أداء نظام متكامل من المضخات الحرارية وسخانات المياه التى تعمل بالغاز

يمثل الأداء غير المرضى لسخانات الميـاه التى تعمل بالمضـخات الحرارية (هواء ـ الى ـ ماء) فى الظروف الطبيعية البـاردة ـ العقبة الرئيسية للتوسع فى تسويق هذه الأداة للاستخدامات المنزلية • وعلى الجانب الآخر فان ارتفاع (أو زيادة) أسعار الغاز الطبيعى التى شهدتها أوائل حقبة الثمانينات كان حافزا لاستبدال السخانات التى تعمل بالغاز•

وكان لارتفاع أسعار الطاقة أثر كبير فى تغيير قاعدة التصـميم الاقتصادى من مجرد اعتبار التكاليف الاستثمارية الأولية (الأصلية) الى التكاليف الاجمالية على مدى العمر (المدى الطويل) علاوة على ذلك فان احتمالات أو امكانات التغير فى مصادر الطاقة من شأنهـا أن تقدم (أو تقترح) تصميمات للنظام مؤسسة على استخدام مصـادر عديدة للطاقة • واحدى الطرق هى بتصميم نظام قادر على استخدام مصـادر عديدة للوقود أو باستخدام مصـدر رخيص للطـاقة ـ مثـل الطاقة الشمسية والرياح أو طاقة التدرج الحرارى لمياه المحيطات ويدعم هذا المصدر مصادر من الوقود الناضبة لمواجهة ظروف عدم توافر ـ أو حتى عدم كفاية ـ هذه المصادر الأولية للطاقة • وينبغى أن نؤكد على أهمية كل من استخدام المصـادر المركبـة للطاقة جنبا الى جنب مع أهميـة الاستخدام الجيد (الكفء) للمصدر المفرد Single للطاقة •

وتقريبا فى كل البلاد الغربية الباردة ـ وكذلك فى بعض البـلاد الشرقية نجد أن تسخين المياه يمثل ثانى أكبر متطلب للطاقة داخـل المنازل حتى أنه ـ وعلى سبيل المثـال ـ يستهلك المنزل فى الولايـات



(شكل ٢ ـ ١)

نظام التسخين والتبريد الشمسي

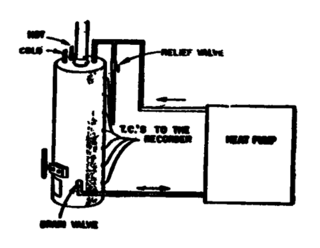
المتحدة الأمريكية ما بين ٥ الى ١٠ آلاف كيلووات ساعة سنويا فى تسخين المياه • فاذا كانت تكلفة الطاقة الكهربائية تتروح - بالولايات المتحدة - مابين ٤ الى ٨ سنت/ك•و•س• فمعنى ذلك أن استهلاك الكهرباء لهذه السخانات يتروح ما بين ٢٠٠ دولار الى ٨٠٠ دولار أمريكى سنويا لكل منزل • ويمكن لسخان المياه الذى يستخدم المضخة الحرارية بمتوسط ومعامل أداء (COP) يساوى ٣ أن يختصر هذه التكلفة بمقدار الثلث ومن ثم فان فترة استرداد رأس المال المستثمر يمكن أن تكون أقل من عام واحد •

ويمكن أن نقول أن مؤشر الجدوى الاقتصادية لاستخدام سخان المياه ذى المضخة الحرارية كبديل عن سخان المياه الكهربائى - يكون أعلى (أو أكثر وضوحا) كلما ارتفع سعر الطاقة الكهربائية وكلما ازداد الاستهلاك من الماء الساخن • وجدير بالذكر فان أثر هذين العاملين (زيادة الاستهلاك وسعر وحدة الطاقة الكهربائية) يكون أكثر تضخما عندما يكون معامل الأداء (COP) أعلى •

ولقد لوحظ أن أداء سخانات المياه ذات المضخات الحرارية يكون مرضيا جدا فى مناطق الولايات المتحدة ذات الظروف الجوية المتوسطة على مدار العام • علاوة على ذلك فان هذا السخان يقدم نفس المزايا أو الفوائد التى يقدمها جهاز تكييف الهواء ونازعات الرطوبة فى بعض أجزاء من الولايات المتحدة الأمريكية •

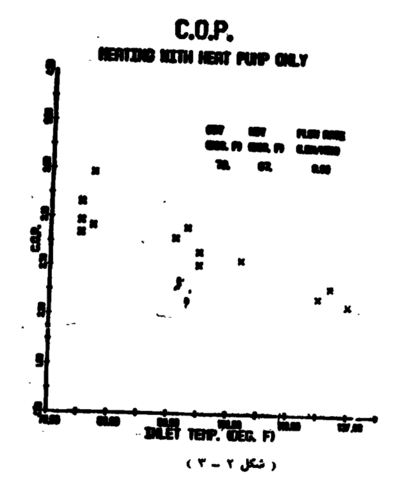
ونفس المبدأ ينطبق أثناء الصيف - على الجهات الشمالية من الولايات المتحدة الأمريكية فى الشتاء فان المضخة الحرارية - تسحب الحرارة من داخل المنزل والتى تحتاج لاستبدالها بنظام تسخين منزلى • ويعتبر تحديد موقع سخان المياه الذى يعمل بالمضخة الحرارية - العامل الأساسى لتحديد كمية الحرارة المسحوبة من باقى المنزل • ولتجنب الفاقد الحرارى من الحيز المكيف Conditioned Space ينبغى اقامة المضخة الحرارية فى حيز مكيف وفى هذه الحالة فان قدرا كبيرا من الحرارة اللازمة لتسخين المياه يمكن الحصول عليها من الأرض أو من الفواقد الحرارية الداخلية Interior Heat Losses الأخرى •

وفى تحليل لأسوأ الحالات حيث لايكون هنالك فاقد حرارى متاح يمكن تحويل سخان الماء ذى المضخة الحرارية الى سخان يعمل بالغاز أو يعمل بالتسخين بالمقاومة Resistance Heating



(شكل ٢ ــ ٣)

رسم كروكى للتجربة



(شكل ٢ ــ ٣)

خصائص تغير « معامل الأداء » مع تغير درجة حرارة المياه الداخلة ·

ولقد أجريت دراسة بهدف استقصاء امكانيـــة احلال (تبديل) سخان المياه الغازى بآخـــر يعمل بالمضخة الحرارية واستهدفت هذه الدراسة تحليل الأداء الحرار ـ ديناميكى (الثرموديناميكى) والاقتصادى لنظام تسخين مياه يتضمن كلا من الســخان الغازى وسخان المضخة وسخان المضخة الحرارية • ولعل أحد المزايا الهـــامة فى هذا النظـام المركب أن جزءا من الطاقة الفاقدة من نظام سخان المياه الغازى يعـــاد استخدامها فى المضخة الحرارية •

واستخدمت هذه الدراسة لتقييم أداء نظام مركب عبارة عن سخان ذى مضخة حرارية ـ متــاح تجاريا ـ بســعة حرارية ١٣٫٠٠٠ وحـدة حرارية بريطانية فى الساعة وسخان غازى ـ متاح تجـــاريا كذلك ـ ذى سعة ٤٠ جالون (أمريكى) من المياه الساخنـــة • كذلك اســتخدم مستودع تخزين سعة ٤٠ جالون الملحق بالسخان الغازى كخزان لسخان المضخة الحرارية • وتم توصيل السخانين وتزويدهما بأجهزة القياس اللازمة لتزويد الباحثين بقاعدة البيانات والنتائج النهـ[illegible]ـه • ويبين الشكل (٢ ـ ٢) المكونات الرئيسية لهذه التجربة • اما الـ[illegible]ـانات النهائية فتكون من قياسات السعة ـ الأداء ـ والكفاءة لسـخان المضخة الحرارية ـ لسخان المياه الغازى ـ والنظام المركب من السخانين • فهى نتائج قياسات الحرارة ـ معدل تدفق الميـاه ـ واستهلاك المضــخة الحرارية •

وبالنسبة للمضخة الحرارية يقوم محرك قدرته (١) واحد حصان ـ ومن النوع التأثيرى وسرعته ٣٦٠٠ لفة / دقيقة بادارة الكباس المحكم السداد ـ ذى الاسطوانة الواحدة وذى الحركة الترددية Reciprocating أما المكثف فهو عبارة عن مبادل حرارى حلزونى مصنوع من المواســير المفلطحـة Flattened ومغطاة بطبقة عازلة • أما أداة التمدد فى هذه المضخة الحرارية فهى عبارة عن أنبوبة شعرية Capillary • والمبخر من النوع ذى الأنابيب الزعانفية (المزودة بالزعانف Finned-Tube) وذات التدفق المستعرض والممر (الطريق) المفرد وتقوم مضخة صغيرة (قدرة ٠٫٠٤ حصان) بتدوير المياه داخل المضخة الحرارية •

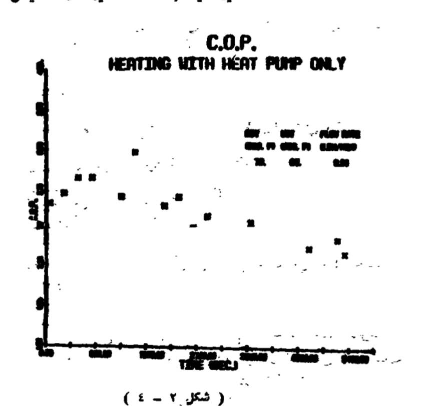
وتم دراسة أداء المضخة الحرارية بتشغيل المضخة الحرارية وحدها وتسخين المياه داخل مستودع التخزين (Storage tank) أما الميـاه الداخلة لهذه المضخة الحرارية فتم سـحبها من قاع مستودع التخزين (الخزان) ثم تم اعادتها الى أعلى (top) الخزان بعد استقبال الحرارة من وسيط التجميد refrigerant داخل مكثف المضخة الحرارية •

ويبين الشكل (٢ ـ ٣) العلاقة بين تغير معامل الأداء (COP) مع درجة حرارة الماء الداخل • بينما الشكل (٢ ـ ٤) تغير معامل الأداء أثناء زمن تسخين المياه • وخلاصـــة ما تمخضت عنـــه هذه الدراســة فهي ما يلي :

ـ أن الشكل والأبعاد النسبية لمستودع التخزين هي عوامل هامة للحفاظ على مستوى عال لمعامل الأداء عنـــد اســـتخدام المضـــخة الحرارية فقط •

ـ يمكن الحفاظ على مستوى عال لمعامل الأداء (COP) بزيادة التدرج الحراري للماء داخل الخزان • واحدى الطرق لذلك هي بتخفيض معدل تدفق المياه الدوارة خلال المضخة الحرارية فمثلا تخفيض معدل التدفق من ١٠ لتر / دقيقة الى ٨ر٥ لتر / دقيقة يؤدي الى زيادة الفارق في درجة الحرارة ما بين سطح وقاع الخزان من ٢٠ الى ٤٥ درجة فهرنهيت • وهذا يؤدي الى في زيادة معامل الأداء بنسبة ٢٥٪ •

ـ ألا أنه عند تسخين المياه بكلا السخانين فان تخفيض معدل تدفق



(شكل ٢ ـ ٤)

خصائص تغير « معامل الأداء مع الزمن »

المياه الدورة خـــلال المضـــخة الحرارية له أثر سلبى على معامل الأداء (COP) وهذا راجع الى أن الزيادة المستمرة والمنتظمة فى درجة حرارة الخزان بفعل سخان الماء الغازى •

ـ بافتراض سعر ٤ر٥ ، ٤ر١٩ سنت لكل مليون وحدة حرارية بريطانية للغاز والكهرباء على التوالى وبكفاءة ٦٠٪ لسخان الماء الغازى يكون تسخين المياه باســـتخدام المضـــخة الحرارية أكثر اقتصـــادا (بالنســـبة لأســـعار الوقود فقط) طالما ظل معامل الأداء أعلى مـــن الرقـــم ٢ر٢ •

ـ أصبحت المضخات الحرارية شائعة جدا وخاصة فى شـــمال غرب أوروبا حيث البرد قارس كوسيلة لازاحة (أو لتحل محل) فقط التدفئة والتسخين فى المنازل ألا أن المرواح داخـل المضخـات الحرارية التقليدية تعتبر مصدرا مزعجا للضوضاء • لذا لجأ الناس ـ وكمصدر حرارى بديل ـ الى « أسطح الطاقة » "Energy Roofs" وغيرهـا من الهياكل الأخرى حيث تجمع الحرارة من الهواء الجوى ومن خلال تيارات الحمل (التصـــــعد Convection) الحرارى الطبيعى • وبالنســـبة للولايات المتحدة أجرى اختبار على « أسطح الطاقة » الا أن النتائج لا تتوقع لهذه الوسيلة أن تكون شائعة فمنها الأسباب :

ـ التكلفة الاقتصادية أعلى من النظم التقليدية •

ـ أنها لا تقدم أى مزايا بالنسبة لادارة الأحمال الكهربائية •

ـ تقتصر فائدتها على الأجواء المعتدلة فقط •

ـ أن الأمريكيون لم يعطوا اهتماما كبيرا بمشكلة الضوضاء التى تصدرها مرواح المضخات الحرارية •

وبعد أزمة النفط العالمية فى أوائل السبعينات من هذا القـــرن تجدد الاهتمام ـ فى الولايات المتحدة الأمريكيـــة وغيرها ـ بالمضخات الحرارية لتدفئة وتبريد المبانى ومن ثم نشطت الأبحاث لتحسين معامل أدائها COP وأمكن رفع امكاناتها باستخدام الآلات متعددة السرعة • كما اهتمت الأبحاث باستخدام ملفات تبريد البخار المحمص (ملفـات ازالة الاحمـــاء desuperheating Coils لتسخين الماء المنزلى الحار DHW (Domestic Hot Cater — DHW) وكذلك لتطوير وحدات التى لها مضخة حرارية منفصلة •

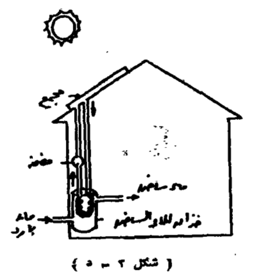
وزاد الاهتمام كذلك باستخدام المصادر الحرارية الأخرى بخلاف ذلك المصدر البسيط ونقصد به الهواء الجوى المحيط · فنجد أبحاثا قدمت عن استخدام مياه الآبار ـ مياه البحيرات ـ أو استخدام مضخات حرارية مقرونة Coupled بالأرض من خلال نظام للمواسير المدفونة فى الأرض · بل تطلع الناس الى المضخات الحرارية المعاونة للنظم الشمسية Solar Assisted Heat Pumps (SAHP) وهى عبارة عن نظام تجميع وتخزين شمسى يدعمه (أو يسانده) مضخة حرارية (وهذه الأخيرة يساندها نظام تسخين باستخدام المقاومة الكهربائية) ·

وفى بعض وحدات المضخات الحرارية المعاونة للنظم الشمسية (SAHP) ـ النظم المتوازية ـ نجد أن المضخة الحرارية هى ببساطة عبارة عن وحدة هواء الى هواء (air-to-air) والتى يبدأ تشغيلها باستخدام الهواء الخارجى كمصدر للحرارة عندما يكون نظام التخزين الشمسى غير قادر على التزويد بطاقة حرارية مفيدة ·

وفى بعض وحدات المضخات الحرارية المعاونة للنظم الشمسية (SAHP) ـ النظم المتتابعة (المتوالية) ـ نجد أن المضخة الحرارية تستخدم نظام التخزين الشمسى كمصدر حرارى ·

وفى النظم الثنائية (Dual Systems) يمكن للمضخة الحرارية أن تستخدم أى من الهواء الجوى المحيط أو مياه صهريج التخزين الشمسى·

ومازال الجدل مستمرا للقطع بأى النظم هو الأفضل ·



(شكل ٢ ـ ٥)

كروكى لنظام شمسى فعال ويتضمن لوحات التجميع الشمسى ـ المضخات ـ خزان المياه الساخنة والمبادلات الحرارية ·

وفى ألمانيا وفرنسا تم استنباط (أو تطوير) طراز جديد من نظم المضخات الحرارية (المتتابع) والذى يستخدم الهواء كمصدر حرارى مع الرياح Wind مع نقل الحرارة بتيارات ـ الحمل (التصعد Convection) الطبيعية وبدون استخدام مرواح وأحيانا يغطى الجدار أو واجهة المبنى ـ أو السطح ـ جزئيا أو كليا بسطح ناقل للحرارة بشكل يماثل ـ لحد ما ـ بلوح للمجمع الشمسى ولكن بدون صقل Without glazing حتى أنه يتخيل للفرد أحيانا ـ عندما يرى أدوات التجميع الشمسية هذه كأنها أسوار أو أبراج أو بأشكال كأنها محاطة بأسوار ونسمع عن المسميات مثل « أسطح الطاقة » ـ « جدران الطاقة » ـ « واجهات الطاقة » "Energy Facades" « أبراج الطاقة » ـ « كرات الطاقة » "Energy Spheres" أسوار الطاقة "Energy Fences" "Energy" مداخن الطاقة "Energy Stacks" ... الخ .

ولقد اهتم معهد بحوث الطاقة الأمريكية المعروف "EPRI" بدراسة كل هذه التقنيات الأوروبية وتحديد أفضلها للتطبيق داخل الولايات المتحدة الأمريكية .

وحاليا فأكثر من ٤٠٪ من الطاقة الأولية التى تستخدم فى شمال غرب أوروبا تستخدم فى التسخين والتدفئة المنزلية ونسبة كبيرة من هذه الطاقة الأولية مصدرها البترول أو الغاز الطبيعى ومن ثم فيهتم هذا المجتمع بالاقتصاد ـ أو البحث عن بديل لهذين المصدرين كلما أمكن ذلك . وهذا هو السبب الرئيسى لاهتمامه (أى هذا المجتمع) بالمضخات الحرارية .

ولكن هنالك فروق واضحة بين سوق (أو تصاميم) المبانى السكنية فى كل من أوروبا وأمريكا ففى أوروبا يعيش الكثير من السكان فى منازل قديمة عمرها قد يصل الى ٥٠٠ عام كما تبنى مبانى حديثة ولكن بخصائص انشائية تجعل من التوقع أن تعيش فترة طويلة كذلك ولا يهم هؤلاء الناس كثيرا فى أن ينفقوا بسخاء على تجهيز منازلهم على العكس من ذلك فى الولايات المتحدة حيث يميل السكان الى الحد من نفقات تجهيز منازلهم نظرا لطبيعة الظروف المعيشية لهذا المجتمع الكثير التنقل من منزل لآخر ومن بلد ومن ولاية لأخرى .

والكثير من المنازل المقامة أصلا فى البلاد الأوربية تعتبر ـ عمليا ـ بدون أى عزل حرارى فغالبا ما تكون الجدران من الطوب ذات الفراغات الهوائية . وعلى الرغم من أن ذلك قد يخلق بعض العزل الحرارى

للجدران ألا أنها مبنية (built-in) أساسا للسيطرة على الرطوبة ولمنع تسرب المياه مباشرة من الجدران الخارجيـــة الى الطلاء (أو ورق الحائط مثلا) الداخلي والحقيقة فان تحسين ــ أو تعديل ــ هذه المباني ليس بالعملية السـهلة فاعادة تركيب العـازل الحراري في الثغرات أو الفجوات الهوائية يمكن أن يتداخل مع عمل « حاجز الرطوبة للفراغ الهوائي Gap's moisture barrier كما أن الفراغ المتاح لوضع العزل الحراري داخل ثغرة أو فجوة هوائيـــة ــ بطبيعتها ضيقة ــ محـدود للغاية • كما أن اعادة تركيب عازل حراري خارج ــ الجدران يعتبر غير مرغوب فيه بالنسبة للمباني من الطوب واعادة تركيبه داخل الجدران من شأنه تصغير تقليل حجم الحجرات كما تقلل فعالية (أو تأثير) القصور الحراري Thermal Ineratio لجدران الطوب •

والكثير من المنازل في شمال غرب أوروبا تستخدم البترول في التدفئة كما تستخدم البترول ــ كذلك ــ في تسخين الميـــاه ــ والذي يمكنه أن يكون على درجة معقولة من الكفاءة في فصـــل الشتاء عندما يستفاد من الفرن Furnace في تدفئة المنزل كذلك وعلى العكس من ذلك في فصل الصيف حيث يفتقد لحد كبير ــ هذه الكفاءة • ونظـرا لنقص ــ أو قلة ــ الاشعاع الشمسي في فصل الشتاء فكثيرا ما يعتبر التسخين الشمسي لمياه المنازل كبديل لاستهلاك البترول في الصيف فقط •

والاستهلاك السنوي للبترول المستخدم في التدفئة لمنزل يقيم به عائلة كبيرة في ألمانيا يقدر بحوالي ١٥ متر مكعب مع صهريج ضخم يبنى في البدروم (الطابق الأرضي) ومن ثم فيحتاج الى ملئـه مرة أو مرتين فقط خلال العام • وتصل أحيانا سـعة هذا الصهريج الى ٣٠ طن من البترول ــ وقد تزيد ••• !! •

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فنجد ــ في المناطق الشـمالية الشرقية منها ــ سـعة الصهاريج تبلغ من ١٫٥ الى ٢ متر مكعب فقط ويستلزم تكرار ملئها عدة مرات خلال فصل الشتاء وغالبا ما تكون مزودة ــ أي هذه الصهاريج ــ بنظام آلي للملء وفقا لتسجيل حرار/يومي Degree-day-record

وتعتبر المضخات الحرارية ذات جاذبية خاصة في بلاد شمال غرب أوروبا لعدة أسباب منها :

ــ أن درجات الحرارة ــ المعتدلة (نسبيا) شتاء ــ من شـأنها توفير مصدر هواء حراري والذي نادرا ما يهبط الى الدرجات التي تجعل

المضخة الحرارية عاجزة عن استخلاص كميات معقولة من الطاقة من الهواء (علما بأن المجمع الشمسى الحرارى يعتبر ـ تقريبـــا ـ عديم الفائدة شـــتاء) .

ـ أن طول موسم التدفئة من شأنه اتاحة الفرصـــة لاطالة فترة الهلك Amortization Period لمعدات المضخة الحرارية باهظة التكلفة ـ نظرا لطول ساعات التشغيل .

ـ أن الطاقة الكهربائية المستهلكة فى المضخات الحرارية ـ جزء فقط منها ـ يستمد من حرق البترول . وعلى سبيل المثال فى ألمانيا الغربية وجد أن ٥ر١٪ فقط من الطاقة الكهربائية تولد من مصادر بترولية بينما ٩ر١٩٪ منها من الغاز الطبيعى والباقى أى ٧٥٪ من مصادر رخيصـــة (طاقة مائية ـ نووية ـ والفحم) . ولذا فان المضخات الحرارية يمكنها أن تحل محـــل قدرا لا بأس به من النفط (البترول) المستخدم فى التدفئة المنزلية بشرط أن يكون معامل الأداء COP لهذه المضخات ـ وفى أى مكان ـ فى حدود معقولة .

ويمكن أن نقول بشكل عام ـ أن ذروة استهلاك الطاقة لأى مضخة حرارية يكون ليلا وهذا من شأنه ـ دون شكل ـ تحسين معامل الحمل للشبكة الكهربائية .

وجدير بالذكر فان الاهتمام بالمضخات الحرارية فى البلاد الأوربية لا تقتصر على الوحدات التى تعمل بضغط (كبس البخار) والتى تدار كهربائيا بل يمكن كذلك صناعة مضخات والتى تدار بالوقود الحفرى ـ سواء باستخدام دورات الامتصاص أو أى مهمات أخرى ـ وهى بسيطة التركيب نسبيا نظرا لعدم الحاجة الى تكييف (تبريد) للهواء بل ما يلزم هو التسخين فقط ويمكنها لذلك أن تقوم بأداء مهمة (وظيفة) مفيدة جدا حيث أن معامل الأداء COP لأسلوب (أورجيم) التسخين أعلى من كفاءة الاشعال أو الحريق ـ وبشكل ملحوظ ـ داخل الفرن العادى. وفعلا تجرى أبحاث كثيرة حاليا لتطوير المضخات الحرارية التى سوف تعمل بالوقود الحفرى .

نعود مرة أخرى الى الوسائل الأخرى ـ غير المضخات الحرارية ـ مثل « سطح الطاقة » « ومدخنة الطاقة » . فهذه تتميز بانها لاتصدر ضوضاء ـ حيث لا تعمـــل مرواح وحتى لو أمكن تصميم المرواح بحيث تصدر مستوى منخفض من الضوضاء ففى بلد مثل ألمانيا الاتحادية ـ

(ب)　　　　(أ)

(شكل ٢ ـ ٦)

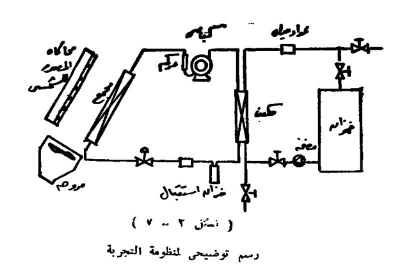
شكل مبسط لبيان نظام الحرارة الثابتة الشمسي

(أ) التبريد الشمسي　　　　(ب) التسخين الشمسي

مجرد صدور شكوى من أن هذه المروحة تسبب مضايقة لأحد الجيران ـ ولو كان مستوى الضوضاء فى حدود المسموح به باللوائح المحليـة ـ يعتبر هنالك سببا كافيا لعدم تشغيلها ·

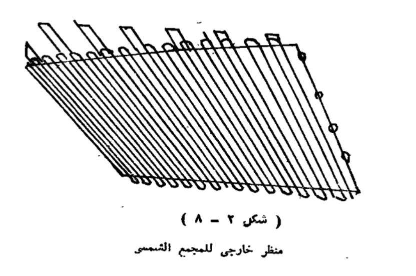
النظام المركب من المضخة الحرارية الشمسية والمجمع الشمسى المعبـأ بسائل للتبريد

هنالك مشكلة أساسية بالنسبة للنظام الشمسى التقليدى الذى يستخدم السوائل Liquid Solar System وهى أن كمية الحرارة التى تغذى سعة النظـــام تتوقف ـ ولحد كبير ـ على الظروف الجوية · فالنظام ـ فى أغلب الأحيان ـ يكون غير قادر على تجميع الحرارة فى الفترات التى لا تتاح خلالها طاقة شمسية كافية ومن ثم لابد من توفير مصدر مساعد للطاقة لتغطية احتياجات الحمـــل الحرارى المطلوب · علاوة على ذلك فان النظـام يتطلب حمـــاية (وقاية) ضـــد التجمد Freezing والصيانات الدورية ومن ثم التكلفة العالية لانشاء الورش عالية مقابل الانتفاع بنسبة ضئيلة من الطاقة الشمسية على العكس المطلوبة لذلك · كل هذه العوامل تؤدى الى تكاليف استثمارية وصيانه من ذلك يمكن لنظام المضخة الحرارية ـ ذات المصدر الهوائى ـ أن تجمع طاقة حرارية تحت الظروف التى تتميز بانخفاض الاشـــعاع الشمسى Solar Insolation مثل الأيام الغائمة والأيام الممطرة · ومن تحليل للواقع ينبغى الا تتوقع أداء عاليا عند انخفاض درجة حرارة الجو المحيط حيث تضبح ســـعة التسخين وكذلك معامل الأداء منخفضين جـــدا · وللتغلب على هذه المشاكل أعطيت للمضخات الشمسية الحرارية اهتمامات على نطاق واســع · وعلى وجـه الخصوص نظم المضخات الحرارية ذات المجمع الشمسى المعبـــأ بسائل تبريد والتى تسمى « نظـم المضخات الحرارية الشمسية ذات التمدد المباشر Direct Expansion Solar Heat Pump System وهذه النظم لها جاذبيتها حيث أن هذا النظام ـ من حيث المبدأ ـ يقـوم بتجميع الحرارة ـ مباشرة ـ من كل الاشـــعاع الشمسى Solar Radiation ومن الجو · كما تقـدم هذه النظم ـ نظـــم التمدد المبـاشر ـ امكانات قوية لتحسين أداء كل مـن المجمع Collector والمضخة الحرارية · ويمكن للمجمع الشمسى المعبأ بسائل التبريد ـ والذى يستخدم كمبخر Evaporator داخل دورة كبس (ضغط) بخار للمضخة الحرارية ـ أن يرفع درجـة حـرارة التبخـر



(شكل ٢ ـ ٧)

رسم توضيحى لمنظومة التجربة



(شكل ٢ ـ ٨)

منظر خارجى للمجمع الشمسى

وهذا يعنى ـ Solar Insolation مع الاشعاع الشمسى Evaporation بالنسبة لدرجة حرارة تكثيف معطاة (معينة) ـ أن المضخة تعمل بقدرة داخلة (مغذاة) ضئيلة للضاغط (الكباس) حتى يمكن أن نتوقع قيمة عالية لمعامل الأداء • فى نفس الوقت فان المجمع يعمل عند كفاءة عالية نظرا لحرارة المجمع المنخفضة وحيث يعانى المائع الشغال Working Fluid دائما من تغير المرحلة أو الحالة Phase Change عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الجو المحيط بمعدل انتقال حرارى عالى •

ولقد أظهرت دراسات حديثة نسبيا (كراكو ـ لين عامى٨٣ ، ١٩٨٤) الجدوى الفنية والاقتصادية لهذا النظام (نظام المضخة الشمسية) عندما تعمل بأساليب مختلفة لمصادر الطاقة • كما تمكنت مجموعة من الباحثين (شاتورفيدى وآخرين) من استنباط نموذج رياضى (عام ١٩٨٠) لاجراء دراسة تحليلية للاداء الحرارى للمجمع المعبأ بسائل للتبريد واستخدام هذا النموذج لدراسة نظام المضخة الحرارية الشمسية ذات التمدد المباشر • وأظهرت دراساتهم باستخدام النموذج الرياضى المشار اليه الى امكانية التوصل الى معامل أداء للمضخة الحرارية قيمته ٦ (ستة) وتحت ظروف محيطة واقعية •

وقام باحث ثالث (هينو ـ عام ١٩٨٣) باجراء دراساته على نظام « سولير "SOLAIR" » وهو عبارة عن نظام للمضخة الحرارية الشمسية ذات التمدد المباشر مع صهريج لتخزين الثلج • ويستخدم لكل من تدفئة وكذلك تبريد المبانى • وأظهرت هذه الدراسات أنه يمكن تحقيق وفر (اقتصاد) لا بأس به من الطاقة ـ باستخدام الطاقة الشمسية فى نظام المضخات الحرارية •

توصيف لتجربة لتقييم أداء نظام المضخات الشمسية الحرارية ذات التمدد المباشر :

والنظام الذى نحن بصدده يستهدف استخدامه لتسخين المياه بالمنازل وهو عبارة عن كباس (ضاغط) ذى سعة متغيرة ويتحكم فى هذه السعة تردد Frequency التيار المغذى للمحرك الذى يدير هذا الكباس ـ بلف تمدد يعمل بالكهرباء ـ مجمع شمسى معبأ بسائل للتبريد والذى يمكن دمجه مع هيكل سطحى Roof Structure

ويبين الشكل (٢ ـ ٧) عناصر التجربة ٠ وســائل التبريد ـ والذى يعبأ به المجمع الشمسى يمتص الحرارة من الاشعاع الشمسى ومن الجو بواسطة التبخر ومن ثم يخرج منه فى الحالة الغازية ٠ بعد ذلك يضغط (يكبس) غاز التبريد ـ من خلال الضاغط وبالتالى يرتفع ضغط وحرارة هذا الغاز ويقوم المكثف بتكثيف هذا الغاز المضغوط من خلال التبادل الحرارى مع الماء ٠ ويتمدد ـ سائل التبريد ـ ليصبح مائع ذى مرحلتين عندما يمر خلال بلف التمدد ـ ثم يعود مرة ثانية الى المجمع الشمسى ٠

أما المجمع المستخدم فى هذا النظام فهو عبارة عن مجمع شمسى عاد ومزود بزعانف مسطحة Flat Fins وبدون غطاء زجاجى أو عزل ٠ وهذا المجمع مصنوع من الألومنيــوم المعالج بالطريقــــة الانــودية Anodized مع التشكيل بالبثق (انبثاق أو بروز) Extruded ويمكن دمج المجمع الشمسى مع هيكل السطح لينســجم مع الشــكل المعمارى له ٠ ويبين الشكل (٢ ـ ٨) المنظر الخارجى للمجمع الشمسى ٠ وأسفرت نتائج التجربة عن :

ـ يمكن أن تصـــل كفــاءة المجمع الشـــــمسى الى أعلى ما يمكن (١٠٠٪) ولا يزال يمكنــــه تجميع الحرارة حتى لو لم يــكن هنــالك اشعاع Insolation شمسى ٠

ـ بجعل المجمع عاريا (بدون غطاء زجاجى أو عزل) يعطى فرصة للرياح أن تزيد من سعة تجميع الحرارة لسطح المجمع ٠

ـ أمكن ـ خلال هذه التجربة ـ الحصول على سعة تسخين تعادل حوالى ٣٥٠٠ وات ـ وبمتوســط معامل أداء ٣٫٦ ـ وذلك من الظروف الجوية المقلدة (المحاكاة Simulated) للنظام فى التشغيل السنوى ٠

ـ أمكن اكتشاف حقيقة وهى أن الطاقة الشمسية المغذاة يمكنها تعويض درجة حرارة التبخير ومن ثم تعطى للنظام معامل أداء COP عال٠

ـ أن تحميل السعة Capacity Modulation للضاغط (الكباس) مع مانف التمدد الكهربى هو الوسائل الفعالة للوصول بالنظام الى معامل أداء عال ولاكتســــاب سعة تسخين عاليــــة ـ وعلى الأخص ـ فى فصل الشتاء ٠

ثانيا : بيوت الطاقة الشمسية الخاملة

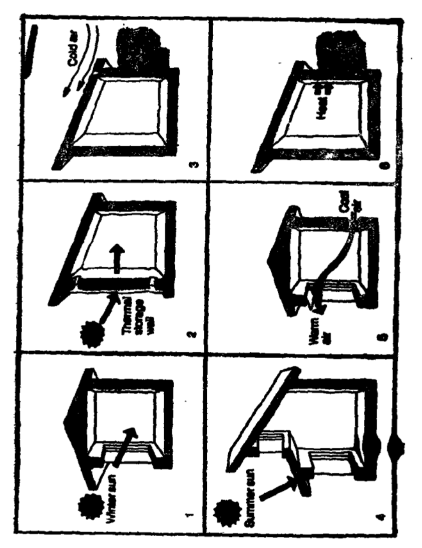
يبنى « البيت الشمسى » للاستفادة القصوى من اشعاع الشمس ترشيدا للطاقة التقليدية فى أغراض التدفئة (سواء الغاز الطبيعى ـ النفط أو الكهرباء) علاوة على زيادة وسائل الراحة داخل هذه المنازل • ويمكننا التعرف على هذه البيوت بملامحها المعروفة وهى دائما ذات نوافذ كبيرة على واجهتها الجنوبية • ويجب أن نفرق بين هذه البيوت أو المنازل وتلك التى تركب سخانات ماء شمسية على أسطح منازلها أى تستخدم نظما شمسية فعالة وليست خاملة •

ولقد بدأ الاهتمام بتصميمات ـ ومن ثم انشـــاء هذه المنازل منذ فترة قصيرة ـ اثنى عشر سنة تقريبا ـ أساسا للاقتصـــاد فى نفقات التدفئة المنزلية حيث أنه يقدر استهلاك الأسرة بما يتروواح ما بين ٢٥٪ الى ٤٠٪ اجمالى استهلاكها فى المناطق المعتدلة (البحر الأبيض المتوسط مثلا) وتزيد هذه النسبة كثيرا فى البـلاد الباردة • ولعل أزمة الطاقة العالمية فى أوائل السبعينات من هذا القرن تمخضت ـ ضمن ما تمخضت عنه من تقنيات حديثة فى مجالات عديدة ـ عن تقنية بل تخصص جديد فى مجال التصميم المعمارى وهو تصميم البيوت الشمسية وتخطيط المدن الصحراوية والمدن السياحية التى تتكون من هذه البيوت •

والبيوت الشمسية فى الحقيقة تختلف كثيرا عن البيوت التقليدية الأخرى وتزيد عن مثيلتها بما يترواح ما بين ١٠٪ الى ٢٠٪ من اجمالى تكلفة الانشاء هذا ويمكن اعادة تجهيز المبانى القائمة بالنظام الشمسى الخامل بنجاح •

ولا تقتصر مزايا البيوت الشمسية الخاملة على اقتصاد ما يترواح ما بين ٦٠٪ الى ٨٠٪ من تكاليف التدفئة الشتوية فحسب بل أنها تقلص من نفقات التبريد (التكييف) وكذلك الانارة حيث تكون أكثر برودة فى الصيف وأكثر اضاءة •

واختيار الجهاز الشمسى الخامل لكل بيت هو فن رفيع اذ يجب على المهندس المعمارى أن يدرس متطلبـــات وعادات وتقاليد كل قاطن (ساكن) لهذا البيت • كما يدرس الظروف المناخية والطبوغرافية المحلية ودرجات الحرارة داخل البيت وتقلبات درجات الحرارة ما بين الليـل والنهار كذلك عليه أن يأخذ فى اعتباره أيضا النباتات المحيطة بالمنزل • وبذلك تكون العناصر الشمسية (أى الداخلة فى تصميم المنزل الشمسى الخامل) أكثر فعالية وأقل تكلفة عند دمجها أثناء مراحل تخطيط البيت •



(شكل ٢ ــ ٩)

الملامح التصميمية للمنزل الشـــمسى الخامل والذى يعتمد على التصميم الهيكلى أكثر من الوســـائل الميكانيكيه وذلك للتحكم فى الطاقة الشمســـيه المستخدمة فى التسخين أو التبريد • فعند التسخين تسمح الشبابيك الزجاجية الكبيرة (أو الأبواب الزجاجية) لضوء الشمس بالدخول لتدفئة السطوح والفراغات الداخلية و (١) جدار التخزين الحرارة والذى يسخن مباشرة بأشعة الشمس ويشع الحرارة الى داخل المبنى (٢) وبناء الجانب الشمالى (البحرى) من المنزل ناحية الجبل يقى داخل المبنى من الرياح الشمالية •

وبالنسبة للتبريد فان تصميم افريز السطح مع التحديد الدقيق لشراعات النوافذ يحيى النوافذ من حرارة الشمس (٤) وتسمح الهـــوية للهواء الساخن المتصاعد للخروج ودخول الهواء بارد من الخارج (٥) والتلامس مع الكتلة الأرضية (الترابية) يسمح بانتقال الحرارة اليها (٦) •

كيفية عمل وتكوين جهاز الطاقة الشمسية الخاملة :

أولا : اجهزة التجميع : تستخدم هذه الأجهزة أسلوبين رئيسيين للتجميع هما :

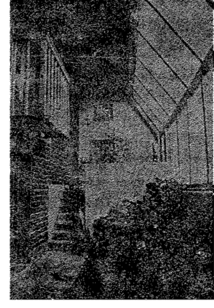
التجميع المباشر : وهو أبسط الأساليب وأكثرها نجاحا ـ حتى الآن ـ وهو يسخن الهواء داخل المنزل بصورة مباشرة • وعادة ما يتم ذلك من خلال نافذة جنوبية • ألا أنه ينبغى التغلب على وهج وحر الصيف عن طريق ـ مثلا ـ عمل نتوءات بسطح المنزل أو عمل أغطية متحركة أو أنواع أخرى من المظلات •

والتجميع غير المباشر : بتحويل الحرارة ـ من خلال مجمعات متعددة ـ وعادة ما يتم من خلال التوصيل باستخدام جدار للتجميع مطلى باللون الأسود ومغلف بطبقة خارجية شفافة وينقل الجدار الحرارة من خلال فتحات خاصة بالجدران وبالاضافة الى المجمعات (أجهزة الامتصاص) تشمل المتطلبات الأخرى لبيت الطاقة الشمسية الخاملة على وحدة تخزين ـ كالخزان الحرارى أو كتلة المبنى دفسه لاطلاق الحرارة داخل المنزل فى المساء • وتشمل أيضا عامل توزيع مثل المروحة أو القناة ـ ثم العزل الحرارى الصحيح والذى يعتبر بالغ الأهمية لنجاح هذا النظام الا أن هذا النظام قد يكون منخفض الكفاءة ويخلق حرارة زائدة فى الصيف •

ويتوقف استخدام أى من الزجاج العادى أو الألياف الزجاجية للتغليف على الجدوى الاقتصادية لانشاء البيت •

والتجميع غير المباشر باسلوب الاشعاع المنفصل : حيث يتحول الهواء الدافىء من عناصر تجميع خارجية عبر قنوات أو مسالك أو بواسطة المرواح وتشمل المجمعات على مدافىء ذات أسطح زجاجية ومجمعات هوائية (أى شرفة أو نافذة مغلقة بالزجاج) أو مصايد لأشعة الشمس (تشبه جدران التجميع ولكنها مبنية ـ غالبا ـ على السطح) •

ثانيا : وحدات التخزين : تستعمل الخزانات الحرارية لسد الفجوة الزمنية ما بين الامتصاص أثناء النهار وتبديد الحرارة أثناء الليل • وهى مصنوعة من مواد ذات قدرة حرارية عالية مثل الجدران والأرضيات الداخلية السميكة والجدران الخارجية ـ اذا كانت معزولة حراريا ـ أو الحصى المدفونة تحت لتربة السفلية • أما كتلة المبنى فتخفف التقلبات الحادة فى درجات الحرارة •





(شكل ٢ ـ ١٠) منزل شمسى خامل من الداخل

(١) نوافذ مزدوجة والتى تخلق ما يطلق عليه « المنزل الأخضر » حيث يسحب الهواء الدافىء من خلال هواية أعلى الباب ويختزن فى فرش صخرى أسفل غرفه الطعام ـ ويعود الهواء البارد ـ والذى فقد حرارته داخل الصخور ـ الى المنزل الأخضر خلال الهوايات فى بير السلم • (٢) يمكن أن يـــكون للمنزل الشمسى الخامل مزايا جمـــالية علاوة على المزايا الاقتصادية • فالمساحات الكبيرة من النوافذ التى تواجه ناحية الجنوب (القبلية) تجعل المنظر الداخلى يبدو للمنزل مضيئا وبارحا (واسعا) •

ثالثا : وسائل تحريك وحدات توزيع الهواء الحار : من وحدات التجميع والتخزين الى المناطق المطلوبة داخـل المنزل • وقد تشمل هذه الأجهزة أو الوســائل فتحــات الجدران وقنوات متكاملة أو مراوح جدران صغيرة •

رابعا : أجهزة التدعيم أو المساندة : وهى عبارة عن وحدات تدفئة مساعدة تستخدم فى الأيام الغائمــة أو أثناء تقلبــات ضوء الشمس الموسمية •

خامسا : عناصر العزل والاغـلاق : وهى من شــأنها أن تقلل احتياجات التدفئة بشكل عام وترفع من درجة كفاءة الطاقة الشمسية الخاملة كما تمنع دخول الهواء الخارجى البارد وكذلك تسرب الهواء الداخلى الدافىء •

سادسا : اســاليب التبريد الصيفية : وهذه الأســاليب تقدم حلول ميكانيكية ومعمارية لتحديد عناصر التجميع والتوزيع فى فصــل الشتاء • ولهذا الغرض قد تستخدم نتؤات السطح والمظلات والنوافذ والأبواب الغائرة (الغاطســة) والأغطيــة المتحركة والســـتائر ومعلقات الزينة •

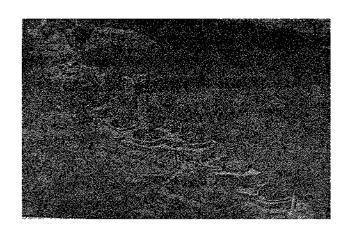
هذا ويمكن الحكم على كفاءة أداء البيت ذى الطاقة الشمسية الخاملة من خلال مؤشرين هما :

١ ــ جزء التدفئــة الشمسية : وهو النسبة المئوية لاحتياجات التدفئة التى يزودها جهاز التدفئة الخامل •

٢ ــ تقلبات درجة الحراســة المقاسة : وتشمل الحد الأدنى ــ الحد الأقصى ــ ومتوسط درجات الحرارة الداخلية اليومية وجميعها تبين على خرائط للمراقبة •

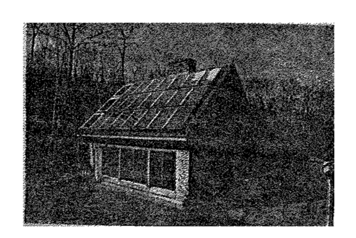
ولعل التجول فى البيت البارد صــيفا والدافىء شتاء هو خير برهان ــ بالادراك والحس الطبيعى لقاطن هذا البيت ــ على نجاح تصميمه ليعمل بالطاقة الشمسية الخاملة •

اعتبارات تصميمية : يمكن استرداد نفقات جهاز الطاقة الشمسية الخاملة ــ ومن خلال التخطيط المناسب ــ ما بين ٣ الى ٥ سنوات • وهذا يتوقف على عناصر التصميم المندمجة • فمثلا بالنسبة للأجواء المعتدلة ــ بمنطقة البحر المتوسط والمشابهة مثلا ــ نجد أن النوافذ المزدوجة الزجاج



(شكل ٢ – ١١)

حتى الكهوف التي كان يسكانها الأمريكيون القدماء تبين انهم استخدموا تصميم البيت الشمسى الخامل فى بلدة « ميسافرد » بولاية كولورادو • حيث تحمى الصخور الكثيفة من حرارة الشمس فى الصيف بينما تسمح بمرور أشـــعة الشـــمس (المنخفضة) بالمرور خلالها •



(شكل ٢ – ١٢)

المجمعات الشمسية هي دليل أو تعنى نظاما شمسيا فعالا حيث تؤدى دور سخان المياه وكذلك التدفئة المنزلية • الا أنه لابد من توافر نظام تسخين تقليدى لمواجهة فترات الغيوم وكذلك مصدر كهرباء تقليدى للانارة والتطبيقات الاخرى •

قد لايكون هنالك ما يبررها من الناحية الاقتصادية على كل فان الأخذ في الاعتبار ما مقداره ٧٠٪ من الحد الأقصى لاحتياجات التدفئة الشتوية ـ أثناء تركيب أجهزة الطاقة الشمسية الخاملة يجب أن يكون كافيا لمعظم مواسم الشتاء مع الاستعانة بدفايات صغيرة مساعدة ـ تعمل بالكهرباء أو النفط أو الغاز ـ للأيام الغائمة أو فترات البرد الشديد ٠

وبطبيعة الحال فان الظروف المحليـة ـ للمنزل الشمسى ـ مثل درجة الحرارة ـ الاشعاع الشمسى ـ وحدة الظروف المناخية الشتوية والصيفية تتفاعل جميعها مع عناصر التصميم مثـل العزل والتهوية بالنسبة لبلاد حوض البحر الأبيض المتوسـط مثلا فعلى الرغم من أن متوسط الحد الأقصى لدرجات الحرارة فيها قد يصـل الى ٣٥ درجة مئوية تقريبا (أو أقل أحيانا) الا أنها ـ وفى كثير من الأحيان ـ تحتاج الى حلول لمشكلة الحرارة فى الصيف مثل مظلات النوافذ الخارجية والبناء بكتلة حرارية كافية (مثل جدران الأسمنت المسلح السميكة) لتحتفظ بالحرارة حتى الأمسيات الباردة ودورة الهواء الطبيعية أو المصطفة ٠

وكمثال واقعى لمنزل الطاقة الشمسية الخاملة : سنضرب هنـا مثالين :

الأول صمم ليعمل بنظام للطاقة وأقيم فى احدى دول البحر المتوسط بلغت مساحته ١٧٠ متر مربع يقع خلف مبانى تقليدية مؤلفة من عـدة طوابق ووراء سياج خضراء ٠ وهو اضافة على الطابق الثانى لمنزل مؤلف من طابق واحد (مثلا) متوسط العمر وكانت تظلله المبانى (العمارات) المجاورة لذا كان البرد قارسا أثناء الشتاء ٠ ويتكون تركيب نظام الطاقة الشمسية الخاملة من ثلاثة نوافذ من مجموعات مختلفة بالاضافة الى عازل بسمك خمسة سنتيمترات حول المبنى بكامله وأجهـزة النوافـذ الثلاثة سهلة البناء والتشغيل وتمد البيت بضـوء النهـار كمـا تلائم الشتـاء والصيف ٠

وتحتوى مجموعة النوافذ الأولى ـ وهى نظام النوافذ القبلية ـ على نوافذ بسيطة ذات لوح زجـاجى من طبقة واحدة مع أغطية متحركة فى غرف الأطفال ٠ ومع أن هذه النوافذ اقتصادية (مع عزل اضافى تقدمه الأغطية المتحركة عند الضرورة) الا أنهـا تقتصر على الغرف المواجهـة للناحيـة القبلية (الجنوب الجغرافى) ٠ ويجب التغلب على الوهج وتلف أو اندثار الأثاثات ٠ كما أن النظام ليس آليـا ٠ لذا فان درجة حرارة الغرفة تتذبذب ـ دون تعديل يدوى ـ ببضع درجات فى اليوم ٠

ويتألف النوع الثانى من النظم الشمسية الخاملة من صنفين من النوافذ المتوازية يفصل بينهما ٧٠ سنتيمتر من الأضـــلاع الأسـمنية وبتعديل النوافذ الداخلية والخارجيــة المنزلقة عمـوديا فى الصيف لاجتذاب دورة الهواء يتسرب الهواء الساخن الى الخارج من خلال الجزء العلوى من النوافذ المفتوحة فيخلف بذلك تأثير فنتورى Venturi Effect الماص حتى فى الأيام التى تنعدم فيها الريـاح • وتضيف الأضـــلاع الأسمنتية الداخلية السميكة كتلة حرارية وتحتفظ بالحرارة فى الشتاء عـلاوة على توفير مظلة فى الصيف • وتتحـــكم النوافذ بدرجة حرارة الغرفة فى جميع الفصول بشكل أفضل مما تتحكم فيها نافذة مباشرة قبلية • ويزود الجدار بفتحات تسمح بدخول ضوء النهار كمـا تتحكم فى التصعد الهوائى Air Lift

أما الغرف التى لا تواجه الجنوب (الناحيــة القبلية) فتتلقى احتياجاتها من منشأة ضــخمة هى نظام الفراغ الشمسى المركزى ذى النوافذ وهو عبـارة عن فراغ مغلق بالزجـــاج بين سطحين منحدرين وصممت منطقة التجميع لتلائم المناطق عالية الكثافة قليلة الارتفاع فى المدن وترتفع فوق ظل المنشأة المجاورة وتجمع الهواء الساخن أثنـــاء الشتاء عند اغلاق النوافذ الزجاجية المنزلقة ويحول الهواء الى غـــرفة الجلوس بالتصعيد القسرى Inertial Lift من خـــلال مرواح ـ الى قناة مبنية بحيث تؤدى الى أســـفل • وعن طريق نفق أفقى يؤدى الى غرف النوم الثلاثة والأكثر انخفاضا • وفى الصيف تفتح نوافذ الفراغ الشمسى للسماح بارتفاع الهواء الساخن وخروجه محدثة « تأثير مدخنة طبيعة "Natural Chimney Effect » •

وفى هذا المنزل استعمل الضوء الطبيعى كلما أمكن فتمتزج مركبات الطاقة الشمسية الخاملة مع التصميم الداخلى للمنزل فمثلا يخصص ركن الطعام أمام نافذة قبلية كبيرة حتى يمـــكن أن تغمره بضـوء الشمس فى الأيام الباردة •

وتعطى أهمية خارصة لدورة الهواء داخـل هذا المنزل عن طريق التصعيد الطبيعى والقسرى ففتح البيت فى الصيف يزيـد التهوية • أما عزل الجدران الخارجية فيخدم غرضا مزدوجا :

ـ أولا لما كانت درجة حرارة المنزل جيـــد العزل ـ تختلف عن درجات حرارة الهواء الداخلى بدرجة مئوية واحـدة فقط مقابل فرق يتروح ما بين ٣ الى ٤ درجات مئوية للجدران غير المعزولة فان من غير المرجح أن يجمع الجدار أى ماء متكاثف •

ـ ثانيا : أنه يمكن للجدار البـــارد أن يجعل الغرفة تبدو أكثر برودة فاذا كانت درجة الحرارة ـ الحقيقية هي ٢٠° درجـــة مئوية • فانها تبدو وكأنها ١٨ درجة مئوية اذا كانت درجة حرارة الجدار تقـل ٤ درجات عن درجة حرارة الغرفة •

والمثال الثانى : وهو متاح فى الأسواق الانجليزية وهو عبارة عن بيوت مصممة لتعتمد على كل من الطـــاقة الشمسية وطـــاقة الرياح والبيوجاز لتوفير احتياجاتها من الطـــاقة الا أن فريقـــا من العلمـاء والمهندسين بجامعة كامبردج البريطانية أجرى أبحاثا ـ على نطاق محلى ـ والمأمول أن تعم التصميمات لتناسب المناطق المختلفة من العالم ـ وذلك لتطوير التصميمات بحيث تكون أكثر راحة وأوفـر استهلاكا للطـاقة ويسمى هذا المشروع باسم "THE Autarkic House" وهو يستهدف تصميم منزل اقتصادى فى استهلاكه للطاقة ويتلائم مع ظروف مصـادر الطاقة المحيطة به • وتشمل الطرق المستخدمة فى هذا المشروع تحسـين تكنولوجيا العزل ومراجعة مقاييس الوحدات السكنيـة والاســتفادة القصوى من الطاقة الشمسية مع تحســين تصميمات مولدات الطــاقة الهوائية Aerogenerators مع الاستفادة القصـــوى من حرارة الماء أو الهواء الخارج • هذا اضافة الى الاهتمام بنواح أخرى مثل عدم اعتماد المنزل على مصادر خارجية للمياه والصرف وذلك بالاستفادة من الرواسب والنفاية باعادة استخدامها •

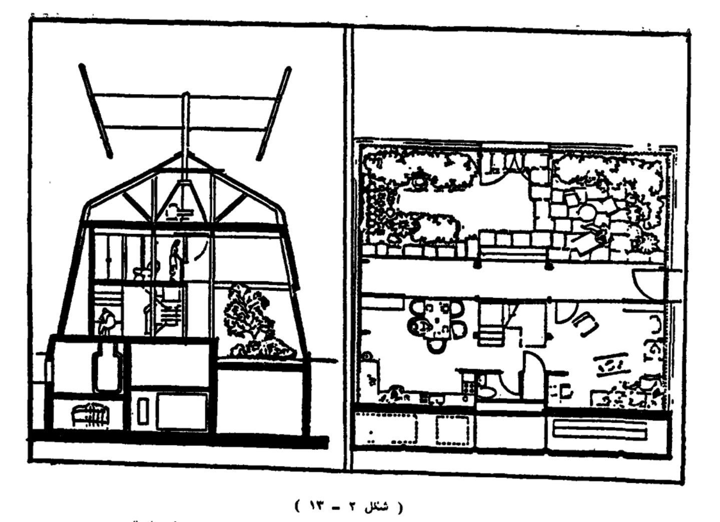
تصميم المنزل : يســتخدم هذا المنزل ـ المبين بالشكل (٢ ـ ١٣) الطاقة الشمسية (المباشرة) للأغراض التالية :

١ ـ لتوفير الحرارة اللازمة لتدفئة مكان محدد ـ وليكن غـرفة المعيشة اليومية ـ فى الشتاء وبعض الأوقات الأخـــرى من العـــام اذا لزم الأمر •

٢ ـ لتوفير الحرارة اللازمة لتدفئة الجزء الآخـــر من المنزل فى أيام محددة على مدار العام •

٣ ـ لتسخين المياه اللازمة للاستخدام المنزلى المعتاد •

فبينما تستخدم بعض البيوت الشمسية الأخرى ـ اضـــافة الى تخزين الطاقة الشمسية فى فصول السنة الأخرى الدافئة ـ الشبابيك القبلية مع حوائط سميكة لامتصاص الاشعاعات الشمسية نهارا للاستفادة



(شكل ٢ - ١٣)
الشكل الداخلي والخارجي للبيت الشمسي (ارتارك) من تصميم جامعة كامبردج البريطانية

منها ليلا فاننا نرى أن التصميم الجديد يفصـــل بين الوظيفتين وذلك بفصل الحيز الفراغى الى مكان أساسى لمزاولة المعيشة اليومية ـ ولا توجد به نوافذ قبلية ـ وحيز آخر ٠ للاستخدام عنـــد اللزوم فقط به نوافذ قبلية بغرض تخزين الطاقة الشمسية ٠ ويفصـــل بين الحيزين حائط رفيع مزود بفواصل (أبواب) مغطاة بطبقة سميكة من العزل الحرارى٠ فعند اغلاق هذه الفواصل يصبح المنزل عبارة عن حيز محـكم الاغلاق ذى نسبة فقد حرارى منخفضة ٠ ويجدر التنويه هنـــا الى أنه بالنسبة لمعطيات معينة من درجة الحرارة المحيطة ونســبة اســتفادة محددة من الطاقة الشمسية للخزان الشمسى فان كمية الطاقة من الخزان الحرارى ـ عند فتح الفواصل (الأبواب) لاتزيد بشكل محسوس عنهـا فى حالة اغلاقها ومن ثم يعطى هذا التصميم الجديد حرية وحيزا أكبر للســاكن عنها فى التصميمات الحالية ٠

ولقـد قام المصممون بوضـــع برنامج متكامل للتصميمات على الحاسب الالكترونى الرقمى بلغة فورتران (1200 Fortran Statements) تكون المعطيات فيه هى : كمية الحرارة المنقولة عبر الحائط ـ الابعاد ـ نظم الحرارة والتهوية المستخدمة ـ مساحة الحيز ـ مســاحات مجمعات الاشعة ـ حجم التخزين ٠٠٠ الخ ٠

والجدير بالذكر أن الدراسات التى أجريت على التصميم الجديد أظهرت حقيقة مثيرة وهى أن استهلاك الطاقة اللازمة لتدفئة المنزل ـ فى بلد شديد البرودة مثل بريطانيـــا ـ أقل من الطـاقة اللازمة لحاجات التسخين وهذا عكس ما هو معروف بالنسبة للتصميمات المتاحة تجاريا فى الوقت الحالى ٠

مياه التسخين اللازمة للمنزل :

تستخدم الطـاقة الشمسية لتسخين المياه للاحتياجات المنزليـــة المختلفة وبطبيعة الحال يستعاض عن الحمامات التى تستخدم ماء ساخن قبل الاستحمام « بالدش » لما فى ذلك من وفر فى الميـــاه والطاقة فى نفس الوقت كذلك بتعديل ماكينات غسل الملابس بحيث تسمح باستغلال حرارة المياه الخارجية الدافئة ويقدر الوفـر فى الطـاقة نتيجـة لذلك بحوالى ٢٥٪ ٠ وحيث أن أحد الأهداف الرئيسية للمشروع هو الاستقلال عن أى شبكة خدمات خارجية فمثلا لتجنب استخدام الكهرباء فى التسخين يمكن الاستفادة من الراجع الحرارى للمياه الدافئـــة بدون اســتخدام

مبـادلات حـرارية خاملة Passive Heat Exchangers ونظرا للطبيعة غير المنتظمة Intermittent لتدفق الميـاه فانه يمـكن افتراض ان معامل الاستفادة بالراجع هو ٢٥٪ فقط وفى الظروف الطبيعية يمكن الاكتفاء باستخدام مضخة حرارية صغيرة لهذا الغرض ٠

الطاقة الكهربائية اللازمة للمنزل :

تشمل تطبيقات الطاقة الكهربائية ـ داخل هذه المنازل ـ المضخات الشمسية ومراوح الهواء اضافة الى الاستخدامات الأخرى من انـارة ـ راديو ـ تليفزيون ـ أجهزة السيطرة والتنبيه والتحكم ـ الثلاجات ٠٠٠ الخ ٠ ويقدر المتخصصون الطاقة اللازمة لمثل هذه الاستخدامات ٠ لمنزل بمثل هذا التصميم بحوالى ٢٠٠٠ كيلووات سـاعة سـنويا ٠ وذلك بافتراض استخدام غاز الميثان الناتج من حرق الفضلات المنزلية لتزويد أغلب الطاقة اللازمة للطهى وبطبيعة الحال يمكن الاقتصـاد أكثر فى استخدامات الطاقة باتباع بعض الاجراءات البسيطة مثل زيادة سـمك طبقات العزل الحرارى أو توجيه الثلاجات أو المجمدات Freezers بحيث تقع المواسير فى الظل وبجوار الحوائط البحرية مثلا ٠

ولقد قام الاخصائيون بجامعة كامبردج البريطانية بدراسة امكانية استخدام المصادر البديلة لتوليد الطاقة الكهربائيـة وكان اسـتخدام الطاقة الشمسية المباشرة أول هذه البدائل ولكن نتائج الدراسة فى هذا المجال أثبتت ارتفاع التكاليف اللازمة ومن ثم اتجهـوا الى اسـتخدام طاقة الرياح ٠ وبعد دراسات احصائية دقيقـة لسرعة الرياح على مدى خمسة أعوام قام المهندسون بتصميم توربين هوائى اتسـاعه ٦ متـر وارتفاعه ٤ متر ٠ وروُى الانتفاع بالحرارة المولدة داخل المولد الكهربى وذلك بوضع التوربين داخل المنزل ويمكن التحكم فى القدرة القصـوى الخارجة من المولد من خلال التحكم فى سرعة التوربين فمثلا يمكن تصميم مولد كهـربى قدرته الظاهرية ٦ كيلو فولت ـ أمبير ليغذى بطـارية (نيكل ـ كادميوم) لتستخدم لبدء التشغيل وكذلك بطـارية تخزين رئيسية سعتها ٥٠ كيلو وات ٠ ساعة (رصـاص ـ حامض) ومقوم عكسى Inverter سعته ٢٫٥ كيلو وات ٠ ويمـكن أن يغذى هذا المقوم الاحتياجات الكهربائية للمنزل من خـلال دائرتى تيار متناوب احداهما رئيسية لتغذية الأحمال الرئيسية (مثل المضخات وبعض دوائر الانارة) والدائرة الأخرى لتغذية الأحمال الكهربائية التى يمكن فصلها (طرحها)

آليا حيث أن استخدام مقوم عكسى كبير يفى بكل الاحتياجات المنزلية قد يكون غير اقتصادى ٠

وجدير بالذكر فانه يمكن ــ فى فترات الحمل المنخفض على المولد ــ تغذية سخانات كهربائية وتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية يمكن تخزينها فى الخزانات الحرارية الملحقة بالمنزل ٠

ثالثا : البرك الشمسية

البركة الشمسية هى بحيرة من صنع الانسان تتصيد الطاقة الشمسية وتختزنها ٠

فاذا أضفنا الى البركة الشمسية مجموعة مولد توربينى لتحويل المياه الدافئة ــ بفعل حرارة الشمس ــ الى كهرباء ٠ بذا يكون لدينا محطة توليد كهرباء من بركة شمسية ٠

وهنالك حقيقة طريفة وهى على الرغم مما يبدو لنا جميعا من بساطة أشعة الشمس الا أن الاستفادة المباشرة منها ــ وهى أبسط موارد الطاقة ــ فقد تم ابتكار أجهزة لذلك معقدة جدا ٠ فالمجمعات القوتوفرلطية والهليوستات (أى المرآة الدوراة التى تعكس الشمس فى اتجاه واحد) التى يتحكم فيها الحاسب الالكترونى (الكمبيوتر) ومحطات الطاقة الشمسية المدارية (الفراغية) كلها شواهد على البراعة اللازمة لتحويل أشعة الشمس الى طاقة مفيدة ٠ وعلى الرغم من ذلك فهنالك أساليب أسهل وأيسر للاستفادة عمليا من أشعة الشمس ٠ وهى أساليب قد تكون ذات كفاية تحويلية Conversion Efficiency النسبية يمكن أن تعود بالربح من خلال التكلفة الاستثمارية المنخفضة ٠ وأحد هذه الأساليب هو البرك الشمسية المالحة لتخزين طاقة الشمس التى يمكن تحويلها بعد ذلك الى طاقة كهربائية من خلال مولدات خاصة ٠

والمبدأ الأساسى للبرك الشمسية غاية فى البساطة حيث تتم تدفئة بركة ماء من صنع الانسان بواسطة الشمس فتخزن الحرارة التى يمكن أن تستخدم لادارة توربينات بخارية ذات تصميم خاص ٠

وجدير بالذكر فانه لا يمكن أن يكون كل جسم مائى بركة شمسية ٠٠ فالبركة العادية تحتوى على ماء ذى كثافة متجانسة فى جميع أنحاء البركة وتمر أشعة الشمس عبر الماء فتسخن طبقات البركة السفلى فتصبح

المياه السفلى الأدفأ أخف كثافة وترتفع الى السطح ليحل محلهـــا مياه باردة أثقل منها تأتى من طبقات البركة العليا • وتسبب حركة الميـــاه هذه تيارات حمل حرارى توزع الحرارة بسرعة فى جميع أنحاء البركة وتمنع أى جزء منها من الوصول الى درجة حرارة عالية •

أما **البركة الشمسية** فهى غير ذات حمـــل حرارى • فالملح المذاب يجعل الماء فى قاع البركة أثقل من حيث الكثافة من الماء الذى فى أعلى البركة • ويزداد تركيز الملح (ومن ثم كثافته) كلمـــا ازداد العمق • ويخترق الاشـــعاع الشمسى البركة ويسخن الطبقات السـفلى من الماء وتصبح هذه الطبقات أعلى حرارة لكنها لاترتفع الى السطح لأنها أكثف وأثقل من الطبقات العليا • وبهذا « **تختزن** » الحرارة فى قاع البركة •

ونظرا لعدم وجود تيارات حمل حرارى لتوزع الحرارة فان درجة حرارة الطبقة السفلى يمكن أن ترتفع الى درجة الغليان تقريبا • وتكون هذه الطبقة السفلى من الماء المالح ــ والتى يطلق عليها « منطقة التخزين » فى البركة وهى عنصر جمع الطاقة للنظام • وتبقى الطبقة العليـــا من البركة باردة بينما تكون الطبقات الوسطى الطباقية بمثابة عازل ممتاز لمنع فقدان الحرارة •

ومن أمثلة البرك الشمسية المعروفة مثل بحيرة « هوت ليك » فى أورفيل بولاية واشنطن بالولايات المتحدة الأمريكية • وكذلك فى العديد من بلاد العالم • والمجر ــ رومانيا ــ فنزويلا وكذلك فى القارة القطبية الجنوبيـــة •

ولأجل تخزين الحرارة ينبغى حماية البركة الشمسية من الرياح وكذلك العوامل الأخـــرى التى قد تؤثر على بنيتها الطبقية • فمثـــلا (سولت ليك) الكبرى فى الولايات المتحدة والبحر الميت لايمكن اعتبارها بركا شمسية وذلك على الرغم من التركيز العالى للملح فيهما ويرجـــع ذلك للاضطراب الناجم عن الرياح والذى يمنع طبقات بها •

للتغلب على مشكلة الرياح فقد صمم العلماء شبكات من البلاستيك توضع فوق سطح البركة لتطفو على سطحها لتمنع الريـــاح من أن تهيج مياهها بل أمكن ايجاد سبل للسيطرة على نمو الطحالب فى البرك ــ الأمر الذى يمكن أن يحجب أشعة الشمس عن البركة ومن ثم يقلل من كفاءتها •

اعتبارات الموقع : قبل البدء فى اقامة بحيرة شمســية جديدة فى موقع معين ينبغى تقييم بعض العوامل الهـــامة فى هذا الموقع مثـــل •

الاشعاع الشمسي ــ الأرض المتاحة وطبيعتها ــ نوع وكمية الأملاح والمياه ــ منسوب المياه الجوفية ــ ومدى صلابة وضع harshness and Fragility البيئة المحيطة هذا الى جانب تقرير ــ وطبيعي بديهيا · اذا ماكان المتاح من الضوء الشمسي كاف لجعل هذا المشروع (مشروع البركة الشمسية) ذى جدوى اقتصادية · وتتوقف هذه الكمية على كل من تكلفة مكونات البركة وكذلك التطبيقات المستهدفة من المشروع فينبغي وجود مساحة كافية للبركة لتجميع كميات كافية من الطاقة لمواجهة متطلبات الأحمال · وكأى مشروع يحتاج الى مساحات كبيرة من الأراضى فيفضل ــ من وجهة لنظر الاقتصادية ــ اختيار المواقع بعيدا بقدر معقول عن العمران (ومن ثم تقل تكلفة الأرض) ولكن مع الأخذ فى الاعتبار تكلفة نقل الطاقة الكهربائية المولدة الى المناطق المأهولة والتى تزيد بطبيعة الحال كلما ابتعدنا عن مناطق الأحمال الكهربائية ·

وينبغى أن يكون متاح لدينا كميات كبيرة من الملح وبسعر رخيص ولقد استخدمت الأملاح ــ مثل كلوريد الصوديوم ــ كلوريد الماغنسيوم أو حتى الملح الطبيعي المتواجد فى مياه البحار ــ لتكوين البرك الشمسية· وأن كان هنالك أنواع أخرى يمكن استخدامها مثل نترات البوتاسيوم ــ البوران وكبريتات الصوديوم · وان لم تتوافر خبرات كافية عنهم ·

ولابد من توافر ــ وبكمية كبيرة ــ الماء منخفض الملوحة ــ لتكوين التدرج الملحى ــ أصلا (من البداية) ــ وكذلك من وقت لآخر لتنظيف flushing سطح البركة خلال الفترة الطويلة لعملها · وفى هذا الصدد نستشهد أو نضرب مثلا بكل من مياه البحر والماء الاخضم (الضارب الى الملوحة (Brackish Water)) ذى الملوحة المنخفضة · فاذا كانت المياه السطحية تستخدم للتخلص من الملح الذى ينتشر فى السطح فان متطلبات الماء ستكون ــ نسبيا ــ ضئيلة حيث سنحتاج فى هذه الحالة الى الغسيل (أو التنظيف) الدورى كل بضع سنوات من التشغيل · أما فى المواقع التى تتميز بمعدل عال فى البخر Evaporation فتكون كميات المياه المطلوبة أكبر وبشكل مستمر لتعويض البخر ·

ووجود مياه جوفية Water Table متحركة أسفل اى بركة شمسية من شأنه أن يكون ما يسمى بالبالوعة الحرارية Heat Sink تمكن من تدفق الحرارة من قاع البركة الى الأرض ومن ثم فهى تمثل سببا (أو مصدرا) ــ لايستهان به ــ لفقد الطاقة الحرارية · أما اذا

كانت المياه الجوفية تبعد عن أسفل قاع البركة بمسافة كبيرة أو اذا كان تدفق المياه من بئر المياه الجوفى الى خارجه يتم بمعدل بسيط فان الفاقد فى الطاقة الحرارية يصبح بسيطا ومن المتطلبات الأساسية ــ عند اختيار موقع البركة الشمسية ــ أن تكون التربة ــ ما بين قاع البركة وسطح المياه الجوفية ــ جافة حيث أن التربة الرطبة يكون لها درجة توصيل حرارية Thermal Conductivity عالية ومن ثم تزيد الفاقد من الطاقة الحرارية ٠

وينبغى كذلك ــ عند اتخاذ قرار بصلاحيــة موقع لاقامة بركة شمسية ــ الأخذ فى الاعتبار عوامل الطبيعة مثل الأنشطة الزلزاليــة أو التعرض للرياح الترابية العنيفة والتى من شأنها اتخاذ اجراءات زائدة لمنع انهيار أو تدهور البركة بعد اقامتها ٠

كذلك فان البيئة التى تتميز بمعدل رطـوبة منخفض قد تتطلب اما اقامة نظام لكبت ــ أو خمد التبخر Evaporation Suppression أو ترتيب نظام لتعويض الكميات الكبيرة من الميـــاه السطحية الفاقدة نتيجة البخـــر ٠

ومن الاعتبارات الضرورية ــ عند اتخاذ قرار باقامة بركة شمسية ــ الأمطار الزائدة (الغزيرة) العواصف الترابية ــ وكذلك أى ازعاجـات للبركة من قبل الانســـان أو الحيوانات ٠ ومن ثم لابـد من ترتيب احتياطات لذلك ٠

كل ما سبق سرده من احتياطات واجبة يجب ترجمته الى تكلفة زائدة ــ لمواجهة مثل الظروف البيئة ــ ومن ثم فتأثيرها ــ سلبيا ــ على اقتصاديات أى مشروع لانشاء بركة شمسية ٠

توربينات البرك الشمسية (بدون بخار)

تدار التوربينات البخارية التقليدية ــ والتى تستخدم لتوليــد الكهرباء بالبخار الذى تصل درجة حرارته الى حوالى من ٤٩٠ ــ ٥٦٥° درجة مئوية تقريبا ٠ أما الماء فى البرك الشمسية فقلما تتجاوز درجة حرارته ٨٠° (ثمانون) درجة مئوية فقط ٠٠٠ ! ٠ ازاء ذلك فالحاجة اذن ملحة لايجاد وسيلة اخرى ــ غير تقليدية ــ لتحويل هذه الحرارة الى كهرباء ٠ ووجد المهندسون أن أحد الحلول يتمثل فى « توربين دورة رانكين » الذى يستخدم السوائل العضوية التى تكون نقط غليانها أقل من نقطة غليان الماء ٠

وتشكل البركة الشمسية والتوربين محطة توليـد ذات تكلفة تشغيلية منخفضة الا أنها ذات كفاءة منخفضة فى مقابل ذلك • فالبركة تحتجز مثلا حوالى ٢٠٪ من الاشعاع الساقط عليها بينما تصل كفاءة التوربين الاجمالية الى أقل من ١٠٪ (٥ر٨٪ كحالة واقعية) • الا أننا ينبغى ألا ننسى أن البركة الشمسية فى هذه المحطة ـ تعمـل كذلك كجهاز لتخزين الطاقة كما تكون مجمعا كذلك وبذا يمكن للمحطة أن تواصل توليد الطاقة الكهربائية أثناء الليل وكذلك أثناء الأيام الغائمة •

منع التسرب أو الارتشاح من البركة الشمسية :

الارتشاح من البركة الشمسية يشبه تسرب الزيت من الآلة • ففى كلتا الحالتين نفقد قدرا كبيرا من الطاقة • لذلك كان احكام سد قاع البركة أمرا ضروريا • الا أن تلك كانت ـ وحتى عهد قريب ـ عملية باهظة التكلفة • وبمواصلة الأبحاث أمكن للعلماء والمهندسون التوصل الى نوع خاص من اللدائن (البلاستيك) للوقاية من هذا التسرب •

الا أنه برزت مشكلة أخرى وهى مشكلة الأنابيب •• فلكى تجمع الطاقة ذات الكثافة المخفضة والتى تمدنا بهـا الشمس مباشرة فلابد للمجمعات الشمسية ـ مهما كان نوعهـا ـ أن تنتشر فوق مسـاحة كبيرة • لذلك فما زال نقل الحرارة من الأجزاء المختلفة للمجمع الشمسى الى موقع مركزى يمثل تحديا يتحتم على المهندسـين مواجهته بمزيد من المثابرة فى الأبحاث للتغلب على تلك المشكلة •

المواقع المناسبة لاقامة برك شمسية بجمهورية مصر العربية

أجريت دراسات مبدئية لايجاد أنسب المواقع ـ داخـل جمهورية مصر العربية ـ لاقامة برك شمسية ووجد أن أنسبها يتركز بشكل كبير فى الوجه البحرى (بين خطى عرض ٢٩° ـ ٥ر٣١° شمالا) والتى تفى بالشروط الخاصة بكل من كميات الاشعاع الشمسى ـ اتاحية الأراضى وبمساحات كبيرة اتاحية الأملاح والمياه ذات الملوحة المنخفضة ـ ومن حيث ظروف وعمق المياه الجوفية وأخيرا الظروف المتعلقـة بصـلابة البيئة Environmental Harshness • ووجدت بالتحديد (٨) مواقع هى :

١ ـ بحيرة مريوط

٢ ـ بحيرة ادكـو

٣ ـ بحيرة البرلس

٤ ـ بحيرة المنزلة

٥ ـ بحيرة البردويل

٦ ـ البحيرات المرة (قناة السويس)

٧ ـ بحيرة قارون (الفيوم)

٨ ـ وأخيرا منخفض القطارة

والمواقع الخمسة الأولى تقع على الساحل الشمالى (على البحر الأبيض) وبترتيب تصاعدى من الغرب الى الشرق ٠

عرض لبعض البيانات الهامة اللازمة لاقامة مشروعات البرك الشمسية بالقاهرة

عن دراسات لتسجيلات هيئة الأرصاد الجوية لجمهورية مصر العربية بالنسبة لمنطقة مصر الشمالية (الساحل الشمالى ودلتا نهر النيل) وجد أن :

فترة استغراق شروق الشمس يترواح ما بين ٧ الى ١٢ ساعة يوميا ٠ كمتوسطات شهرية ٠ بينما المتوسط السنوى يبلغ ٩ر٥ ساعة سنويا ٠

وبينت الدراسات التحليلية للاشعاع الشمسى الكلى لمنطقة مصر الشمالية أنها تترواح ما بين ٢ر٥ الى ٧ر٥ ك٠و٠س/ لكل متر مربع يوميا وبمتوسط سنوى يبلغ ٥ر٥ ك٠و٠س / لكل متر مربع يوميا ٠

ولاقامة بركة شمسية تجريبية ـ بمعهد بحوث البترول بمدينة نصر ـ لتولية قدرة كهربائية مقدارها ٢ك٠و٠ يلزم :

اقامة بحيرة بمساحة ٤٠٠ متر مربع (٢٠ × ٢٠ م) ٠

اجمالى عمق البركة ٣ متر يقسم تقريبا الى المناطق التالية من أعلى الى أسفل :

ـ الطبقة السطحية ٣ر٠ متر

ـ منطقة التدرج الملحى ١ر١ متر

ـ منطقة هامشية (حدودية) ٢ر٠ متر

ـ منطقة التخزين الحرارى ٤ر١ متر

وقد رؤى عند تقدير عمق البركة أن يكون السمك منطقة تخزين الحرارة المستخلصة من البركة بمعدل ٢ر٢٣ ك٠و٠ حرارى ٠ ومعدل تدفق الاجاج أو الماء الملحى Brine ٤م٣ / ساعة ٠

وعند تصميم الشكل الهندسى للبركة ٠ وجد أن هنالك عوامل أخرى يجب مراعاتها مثل :

ـ ميل الجدران الجانبية للبركة ٠ ومن الخبرات السابقة يفضل الميل بنسبة ١ : ١ ويعتقد أن معدل انتقال الملح الى أعلى ـ خلال منطقة التدرج الملحى ـ يزيد كلما قل انحدار الجدران ٠ أى أنه كلما كانت الجدران رأسية أكثر كلما قل معدل انتقال الملح الا أن بناء الجدران الرأسية أكثر تكلفة علاوة على أنه من شأنه زيادة الموجات المنعكسة على سطح البركة (وهى غير مرغوب فيها) بينما تميل الجدران المائلة الى التخلص من الظلال Shadows الملقاة على منطقة التخزين للبركة ٠

ولتهوية الغازات (الفقاعات الغازية الناتجة من تحلل المواد العضوية أثناء عملية تسخين البركة) يفضل أن يتدرج قاع البركة ـ من منتصفه ـ الى أعلى بميل بسيط وتهوى الفقاعات الغازية بامرارها تحت بطانة Liner الى الجدران الجانبية ٠

ويصنع الجسم الداخلى للجدران وكذلك قاع البركة من الخرسانة المغطاة باللدائن المصنوعة من الألياف الزجاجية والتى تصل تكاليفها (أى تكلفة التبطين بهذه اللدائن) الى حوالى ٥ دولار /م٢ (مقيما بدولار عام ١٩٨٤) وحوالى ٧ دولار / م٢ عام ١٩٨٩) ٠

المناطق المناخية فى جمهورية مصر العربية :

تقسم جمهورية مصر العربية ـ من وجهة النظر الطبوغرافية والمناخية ـ الى ٦ مناطق هى :

١ ـ منطقة ساحل البحر الأبيض المتوسط وتشمل السلوم ـ مرسى مطروح ـ الاسكندرية ـ بورسعيد ـ العريش ـ رفح ٠

٢ ـ منطقة الدلتا وتشمل مناطق طنطا ـ المنصورة ـ التحرير ٠

٣ ـ منطقة القاهرة وتشمل بهتيم ـ الماظة ـ الجيزة ـ القاهرة (المبنى الرئيسى لهيئة الأرصاد الجوية) ـ حلوان ٠

٤ ـ منطقة مصر العليا وتشمل الفيوم ـ المنيا ـ أسـيوط ـ الأقصر ـ أسـوان ٠

٥ ـ منطقة الصحراء الغربية وتشمل واحة سـيوة ـ الواحات البحرية ـ الفرافرة ـ الواحات الداخلة والواحات الخارجة ٠

٦ ـ منطقة البحر الأحمر وسيناء : وتشمل الطور ـ الغردقة ـ والقصـير ٠

أما عدد محطات الرصد الجوى المنتشرة فى أنحـاء جمهورية مصر العربية فتبلغ حوالى ٩٠ محطة ٠

رابعا : تطبيقات شائعة للطاقة الشمسية

الطاقة الشمسية عبـارة عن موجـات كهرومغناطيسية تنبعث من الشمس فى درجة حرارة ٥٦٠٠٠ درجة مطلقة ، وتبلغ قيمة هذه الطاقة خارج الجو الأرضى مقدارا يصل الى ١٫٣٦ كيلوات على المتر المربع فى مستوى متعامد مع اتجاه الاشعاع ٠ وتنخفض قيمة الطاقة فى جو الأرضى لعوامل كثيرة الى قيمة أقصاها ١٫٢٠ كيلوات على المتر المربع وتصل الى الصفر حوالى نصف الوقت على سطح الأرض ٠

ويمكن التنبؤ بقيمة الطاقة الشمسية بدلالة الزمن وخط العرض والشهر وطبيعة الجو ٠

وعلى ذلك فالطاقة الشمسية طاقة غـير ثابتة القيمة بالنسبة الى الزمن ووجود السحب وقد تصل الى أكثر قليلا من الكيلوات الواحد على المتر المربع وتوزيعها الطيفى يصل بصفة عامة الى حوالى النصف فى الجزء المرئى وحوالى النصف فى الجزء تحت الأحمر وجزء صغير جدا فى منطقة فوق البنفسجية ٠

وكذلك تنقسم الطاقة الشمسية من ناحية طبيعتها الى طاقة مباشرة تشع فى حزم من الشمس الى الجهاز المستقبل لها والى طاقة غير مباشرة تصل الى الجهاز المستقبل متناثرة بتأثير السحب والغبار وجزئيات الجو وفى الأيام المشمسة قد تصل قيمة الطاقة المباشرة الى حوالى ٩٠٪ فى حين تصل الطاقة غير المباشرة فى الأيام الغائمة الى ١٠٠٪ ٠

ويمكن تقسيم الطرق المختلفة لاستغلال الطاقة من الناحية العلمية الى قسمين أساسيين :

- الاستغلال الحرارى للطاقة الشمسية .

- التحويل المباشر للطاقة الشمسية الى كهرباء مباشرة .

(١/٤) - الاستغلال الحرارى للطاقة الشمسية :

يتمثل الاستغلال الحرارى للطاقة الشمسية فى تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية ويمكن تقسيمها الى ثلاثة أقسام رئيسية :

(أ) استغلال الطاقة الشمسية مع درجة حرارة عالية كالأفران الشمسية (أكثر من ٢٠٠٠°م) .

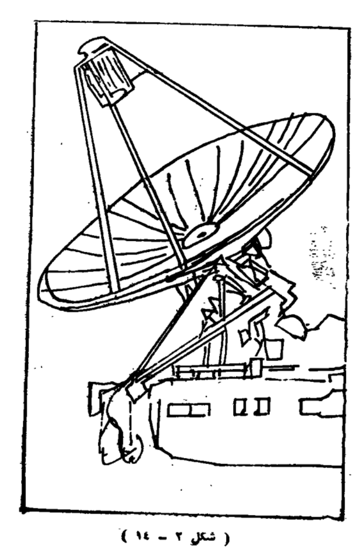
(ب) استغلال الطاقة الشمسية مع درجة حرارة منخفضة حوالى ٥٠° - ١٠٠° م مثل مقطرات المياه العذبة - سخانات المياه - مجففات الخضر والفاكهة .

ويمكن استخدام الطاقة الشمسية فى أجهزة باستعمال أما المجمع ذى الواجهة المسطحة Flat plate Collector أو باستخدام المجمعات التركيزية Focusing Collectors

ويتكون المجمع ذو الواجهة المسطحة من سطح معدنى أسود يمتص الطاقة الشمسية (المباشرة وغير المباشرة) مغطى بواجهة شفافة ومعزولة خلفيا بمواد عازلة للحرارة ومانعة أو مخفضة للفاقد الحرارى وتتحول الطاقة الشمسية على السطح المعدنى الى نوع الطاقة المطلوب وغالبا ما تكون طاقة حرارية يمكن تجميعها بواسطة الماء أو الهواء . وتعمل هذه المجمعات اللوحية غالبا فى وضع واحد تصل أقصى درجة حرارة فى مثل هذه المجمعات الى ١٠٠° م .

وأما الجهاز الشمسى الذى يعمل بالمجمعات التركيزية فيستخدم نظرية التركيز بواسطة العاكس المنحنى . Parabolic Reflector الذى يوجه الأشعة المركزة الى السطح المستقبل الذى ترفع حرارته العادية الى حوالى ٢٠٫٠٠٠ وقد يحتاج الأمر فى مثل هذه الأجهزة الى استخدام جهاز خاص لمتابعة الشمس حتى يعمل الجهاز العاكس على أحسن صورة .

ويحتم عدم انتظام اشعاع الطاقة الشمسية ضرورة تخزينها لاستعمالها فى الأوقات التى تغيب فيها الشمس .



(شكل ٢ ـ ١٤)

تصميم حقيقي لمجمع شمسي من نوع « صحن القطع المكافىء »

ويمكن تلخيص التطبيقات الشائعة لاستخدامات الأجهزة الشمسية فى الآتى :

١ ـ التبخير ٠

٢ ـ تسخين الماء ٠

٣ ـ تقطير الماء ٠

٤ ـ تجفيف الفواكه والخضروات ٠

البخـر الشمسى :

ان لهذا الموضوع أهمية تاريخية وتقليدية حيث أن انتاج الملح من مياه البحر لا يزال له أهميته اليوم فى مجال الانتاج الصغير والكبير فى كثير من البلاد ٠

ويتلخص الموضوع فى أن البلاد التى يزداد فيهـا البخر عن مياه الأمطار تتكون بعض المساحات التى تتجمع فيها المياه بعمق صغير وتتبخر مياهها تاركة الملح المبلور ٠

وتستخدم هذه الطريقة للحصول على الملح فى كثير من البلاد النامية مثل مصر والهند والمكسيك وكولومبيا وشيلى ٠٠٠ الخ ٠

وتتجه الأبحاث الحالية الى تحسين طريقة الحصول على الملح من مثل هذه المساحات وانتاج الطاقة أو الماء المقطر بالاضافة الى انتاج الملح ٠ ومن مثل هذه التحسينات ألا يزيد عمق الماء المالح عن متر واحد وأن تتغير درجة تركيز الملح فى هذه المساحات فى الطبقات الرأسية بحيث تكون أكبر نسبة فى أسفل طبقة ٠

وتتغير درجة التركيز فى الطبقات المختلفة بحيث تكون أسخن طبقة هى الطبقة السفلى (وليست العليا كما فى السوائل التى لا يوجد فيها طبقات متغيرة التركيز) وبذلك ترتفع درجة الحرارة فى أسفل طبقة ٠

وقد تصل الى ٨٠°م أو ٩٠°م بينما تكون فى الطبقة العليا حوالى ٢٥°م ٠

تسخين الميـاه :

ان هذا الاستعمال للطاقة الشمسية هو من أوسع الاستخدامات فى كثير من بلاد العالم ٠

وأهم أجزاء السخان الشمسى هو المجمع ـ اللوح ـ وخزان معزول حراريا ويتم تسـخين الماء عند مروره على المجمع ثم يحول الى الخزان لاستخدامه عند الحاجة اليه ٠

وفى احدى التصميمات تكون مساحة المجمع اللوحى من ٨ر٠ الى ٦ر١م٢ وسعة الخزان حوالى ٣٠٠ لتر ويشمل جهاز ضبط الحرارة قدرة كيلوات واحد ويسمح باستخدام ١٨٠ لترا من المياه الساخنة يوميا عند وجود الشمس ٠

وفى المنازل يمكن استخدام طريقة الفيض الحرارى (Thermo Syphon) والذى يسمح باعادة تسخين المياه الساخنة عند مرورهـا بالمجمع اللوحى ٠

وأما فى الاستخدامات التجارية الكبيرة حيث يمكن تسخين عدة آلاف من اللترات من المياه يوميا فقد يكون من الأفضل استخدام طريقة التحكم باستخدام جهاز ضبط الحرارة المشار اليه سابقا ٠

التقطير بالطاقة الشمسية : أن هـذا الاستخدام للطاقة الشمسية لا يزال فى الدور النصف الصناعى وفى هذا الجهاز ينفـذ الاشـعاع الشمسى من خلال غطاء شفاف الى وعاء مملوء بمياه مالحة بعمق صغير وبذلك يتبخر الماء داخل الجهاز ويتكثف على الغطاء من الداخل حيث يتجمع فى مجرى خاص خارج الجهاز الى خزان خاص بالمياه المقطرة ٠

وقـد استخدم التقطير الشمسية بالطاقة على نطاق صـغير ولكنه تجارى فى بعض الأماكن فى استراليا والبحر الأبيض والبحر الكاريبى كما صممت أجهزة للتقطير طويلة العمر فى أسبانيا وفرنسـا وأمريكا واستراليا ولا تحتاج الا الى صيانة بسيطة وتكاليف تشغيل اقتصادية ٠

وكذلك أجريت بعض التجارب للاسـتعمال المنزلى فى بعض جزر الباسفيك لدراسة عمل واقتصاديات مثل هذه الأجهزة ٠

كما توجد تصميمات حديثة لأجهزة تقطير على درجة كبيرة من الكفاءة تتناسب مع المواد المحلية للبلاد النامية بحيث تكون أكثر اقتصادا ٠

التجفيف بالطاقة الشمسية : أن من الاستعمالات التقليدية للطاقة الشمسية التجفيف وخاصة للخضروات والفواكه ولها أهمية كبيرة في بعض البلاد وتتلخص في وضع المواد المراد تجفيفها في طبقات رقيقة على سطح الأرض وتترك للتعرض للشمس والهواء ·

وفي السنوات الأخيرة أدخلت التحسينات الكثيرة على هذه الطريقة بحيث توضع الفواكه على أرفف مصممة بطريقة خاصة تسمح بتعرض شمسي محكوم لتحسين خواص التجفيف ·

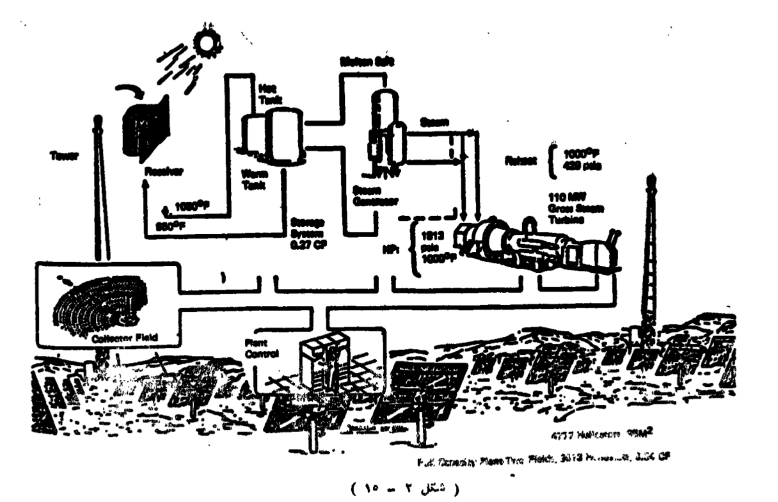
وخلاصة القول هنالك مجالات تطبيقية بسيطة ـ وان كانت ذات أهمية ـ للاستخدامات الحرارية مثل :

- تسخين المياه في المنازل والعمارات (التسخين المركزي) · وكذلك منشآت الخدمات العامة مثل المستشفيات والمدارس ··· الخ ·
- امداد المصانع بالمياه الساخنة أو البخار اللازم لعمليات التصنيع ·
- التدفئة والتكييف ·
- تجفيف المحاصلات الزراعية ·
- تبريد وحفظ المواد الغذائية ·

(٢/٤) : التحويل المباشر للطاقة الشمسية الى كهرباء :

يتمثل هذا الاستغلال لهذه الطاقة بواسطة البطاريات الشمسية وخلايا مولدات الكهرباء الحرارية وهذه الطريقة يمكن تقسيمها الى ثلاثة أقسام رئيسية :

(أ) استغلال الطاقة الضوئيــة في الأشعة الشمسية الى كهرباء مباشرة · وهذه تتم بواسطة بعض المواد ومركباتها لتحويل الطاقة الضوئية مباشرة · وهذه الطريقة على الرغم من أنها ما زالت منخفضة الكفاية غالية التكاليف الا أن البحوث في هذا المجال تقدمت بشكل ملحوظ جدا حتى رشحها رجال صناعة الطاقة لأن تكون احدى صناعات القرن الحادي والعشرين المميزة · هذا وقد تناولنا هذا التطبيق بتفصيل أكثر في الفصل الأول من هذا الباب ·



(شكل ٢ ـ ١٥)

رسم توضيحي لعمل محطة استقبال مركزي شمسية قدرة ١٠٠ م•و •

(ب) استغلال الطاقة الحرارية والضوئية المباشرة والمنتشرة في توليد طاقة كهربائية مباشرة وذلك باستخدام بعض المواد ذات خواص أشباه المواصلات مثل السيليكون والسيلينيـــوم وغيرها الا أن الكفاءة الانتاجية منخفضة لمثل هذه البطاريات أو الخلايا ومازالت تكلفتها باهظة .

(جـ) استغلال الطاقة بخلايا مولدات الكهرباء الحرارية
Thermo-Electric Generators

وهـذه الطريقة تعتمد على تركيز الحرارة في أحد أطراف المولد وتبريد الطرف الآخر فينتج قوة دافعة كهربائية تعتمد على خواص المواد المستخدمة وكذا فرق الحرارة بين الأطراف كما هي الحال في الازدواج الحرارى وما زالت البحوث تجرى لرفع الكفـاية الانتاجية لمثل هــذه المولدات حيث أن الكفاية الانتاجية لها منخفضة جدا .

المجالات التقنية لتطبيقات الطاقة الشمسية باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة :

١ ـ تطبيقات تسخين المياه والتدفئة : وهذه تستخدم سخانات المياه الشمسية وهي عبارة عن نظم تتكون من مجمع مسطح Plate Collector متصل بخزان لتخزين الميـاه ـ بعد تسخينهـا من المجمع للاستخدام بعد ذلك وتنتقل الحرارة الى الميـاه من خـلال الاشـعاعات الشمسية التى تمتص . أما دورة المياه فى هذا النظام يمـكن أن تكون أما طبيعية أو بالتدفق المدفوع Forced . أما بالنسبة للطاقة الخارجة للاستخدامات المنزلية الريفيـة rural ١٠٠ لتر/يوم من الماء السـاخن حتى ٦٠° م أى ٥ر١ × ٧١٠ جول/يوم أما بالنسبة استـخدامات المدن الجـديدة والضــواحى ٢٠٠/يـوم من الماء السـاخن حتى ٦٠° م أى ٢ر٩٢ × ٧١٠ جول/يـوم أما بالنسبة لاستخدامات التعليمية فى المدن الجديدة والضــواحى ٥٠٠ لتر/يوم من الماء السـاخن حتط ٦٠° م أى ٢ر٧ × ٧١٠ جول/يوم .

٢ ـ تطبيقــات التثليــج والتبريــد : (أ) نظـم دورة البخـار Vapor Cycle Systems حيث المجمعات المسطحة تقوم بتسخين مائع عضوى ويسـتخدم البخار لتشغيل آلة انعكاسية وهذه تشغل كبـاس وحدة تثليج .

(ب) النظم من النوع الامتصاصى Absorption Type System حيث يستقبل المجمع المسطح الأشعة الشمسية (مباشرة أو غير مباشرة) .

فتسبب تبخر وسيط التثليج Refrigerant وهـذا يكثف لاستكمال الدورة بالامتصاص الى محلول من هذا الوسيط + ملح . أما الضغط الواطى للمنطقة التى يحتلها البخار المتمدد فتحافظ على هـذا الضغط بالضغط المنخفض للوسيط المثلج Refrigerant الموجود فوق المحلول ويتولد البخار ثانية بالسماح لمحلول وسيط التثليج Refrigerant ووسيط الامتصـاص بالتدفق ثانيـة الى المولد حيث الامداد بالحرارة الشمسية .

٣ ـ **تطبيقات تجفيف الأطعمة** : الطريقة المستخدمة هى مجمعات سـطحية مبسطة من النوعى الصـندوقى Chest-Type ذات أرفف (يمكن فكهـا بسـهولة) لتجفيف الحاصـلات الزراعية أو اللحوم أو الأسماك . أما الخرج فيمكن من ٤ ←― ٦ ك٠و٠س/م٢/يوم (تكافىء ١٤ ←― ٢٢ × ٦١٠ جول/متر ٢/يوم) .

٤ ـ **تطبيقات العمليات الحرارية الصناعية : Industrial Heat : Processes** فى العمليات الصناعية التى تحتاج الى تسخين مياه حتى ١٠٠° م أو أقل تسـخن المياه فى سخانات الميـاه الشمسية المسـطحة Flat Plate ثم اما تبقى كما هى أو ترفع حرارتها بعد ذلك بطرق التسخين التقليدية وبالتالى تمد العمليـات الصناعية بالوسط اللازم للعمليات الصناعية من غسيل ـ التخلص من المواد الصلبة غير المرغوب فيها وعمليات الفصل مثلا . أما الخرج فيتوقف على متطلبات العملية نفسها وكمثال من ١٠٫٠٠٠ ←― ١٠٠٫٠٠٠ لتر/يوم .

المجالات التقنية لتطبيقات الطاقة الشمسية باستخدام المركزات الشمسية:

(أ) اغراض الطبخ المنزلية :

(أ) **الأفران أو الطباخات الشمسية** : الأفران الشمسية عبارة عن صناديق معزولة حراريا وفيها الجانب المعرض للشـمس يطلى بطبقتين أو ثلاثة طبقات لامعـة ويستخدم مجموعة مرايا (مستوية أو مقعرة) لانعكاس الأشعة الشمسية الزائدة من خلال الطبقة اللامعة الى داخل فرن الطبخ ولابد من استمرار اجراء عمليات ضبط المرايا والفرن حتى يكون قلب الفرن دائما هو البؤرة . وبهذا يمكن الحصول على درجة حرارة حتى ٢٠٠° م داخل الفرن .

(ب) السخانات التركيزية مع التحكم من بعد : وهذه تستخدم بوضع السائل أو الجسم الصلب المراد تسخينه فى بؤرة المجمع الشمسى

التركيزى ثم ينقل هذا السائل – أو الجسم – اما يدويا أو آليا الى وحدة الطبخ بداخل المطبخ وتحتاج هذه المركزات لتشغيلها لأشعة الشمس المباشرة ٠

(ج) **الطباخات التركيزية** : وهذه لها مرايا ذات قطاعات على شكل قطع مكافىء أو بضعة مرايا مستوية ومقعرة ومركبة على جسم ذى مقاطع بشكل مكافىء Paraboloid ويدور هذا الجسم مركزا أشعة الشمس على قدر Pot الطبخ المكشوف الذى يكون فى البؤرة وبطبيعة الحال لا بد أن يزود بنظام متابعة الشمس Constant Tracking of Sun وبهذه يمكن الوصول الى درجة الغليان داخل قدر الطبخ بواسطة التسخين بأشعة الشمس المباشرة ٠

(د) **طباخات البخار الشمسية** : وهذه تشبه سخانات المياه المسطحة ٠ وهذا النوع يناسب أنواع الأطعمة التى تحتاج الى عملية طبخ (طهى طويلة وبطيئة) مثل (البقول والمسبك) وهو عبارة عن مجمع مسطح ذى طبقتين أو ثلاثة لامعة وفيها يتكاثف البخار على سطح قدر الطهى وبالتالى تظل درجة الحرارة القدر أقل قليلا من درجة الغليان ويلزم توجيه المجمع الشمسى نحو الشمس مرتين فقط فى اليوم وهو يتأثر تأثيرا طفيفا بالطقس الغائم Cloudy حتى يصل الى درجة حرارة الطهى أما الخرج فهو من ١ ← ٢ ك ٠و٠ للوحدة الواحدة ٠

٢ – **توليد الكهرباء** : والطريقة الفنية للتنفيذ هى طريقة برج القوى Power Tower وهو عبارة عن مصفوفة كبيرة من المرايا توضع على الأرض وتوجه باستمرار نحو الشمس لتوجيه انعكاساتها نحو « غلاية بخارية ذات ضغط عالى ٠ وتوضع هذه الغلاية على سطح برج عال والبخار المولد يستخدم لتوليد الكهرباء أما القدرة الخارجة من ١ ← ١٠ ميجاوات ٠

٣ – **عملية تعذيب المياه** Desalination : الطاقة الشمسية تسخن المياه داخل أباريق (أنابيق) والتى تتبخر وتتكاثف على هيئة مياه عذبة وتتدفق هذه على السطح المائل حيث تتجمع فى قناة تجميع أما حجم الأنابيق فيتراوح بين الحجم العائلى وهو (١٠ – ٨٠ لتر/يوم) الى أحجام المجمعات السكانية (حتى ٥٠٠٠٠ لتر/يوم) ٠

المجالات التقنية لتطبيقات الطاقة الشمسية باستخدام الخلايا الفوتوفولطية :

وهذه لها تطبيق واحد وهو توليد الطاقة الكهربائية اللازمة فى الجهات المتعزلة وفى العيادات الطبية ولتشغيل أجهزة الاتصالات وكذلك لضخ المياه ٠

والطريقة الفنية هي باستخدام الخلايا الكهروضوئية لتحويل أشعة الشمس الساقطة الى تيار مستمر والذى يمكن استخدامه فى أغراض الانارة وأجهزة التليفزيون والمحركات الكهربائية كما تستخدم فى شحن البطاريات (لتخزين الطاقة الكهربائية) أما الخرج فالنسبة للعيادات الطبية (١ ← ٢ ك • ولحمل الذروة ولأغراض التثليج والانارة) _ أما لأغراض أجهزة الاتصالات فيمكن حتى أقصى حمل ١ ك • وأما لضخ المياه من ٤ ← ٦ ك • وحمل ذروة •

تطبيقات الطاقة الشمسية فى الدول النامية :

ليس هناك شك فى امكانيـــة تجميع الطاقة الشمسية لنقلهـــا وتخزينها وتحويلهـــا فى النهـاية الى طاقة كهربائيـة ولكن التعقيدات المصاحبة لهذه العملية وثمن المعـادن والأجهزة الكهربيـة والكيميائيـة وصيانتها بالمقارنة بمحطات القوى الحرارية والمائية تجعل هذه العملية مشكوك فيها عمليا الا فى حدود صغيرة وذلك أساسا بسبب ضعف كمية الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة بالرغم من الطاقة الشمسية الهائلة الكلية وللتدليل على ذلك نتصور مبنى محطة توليد قوى تعمل بالطاقة الشمسية قدرتهـا ١٠٠٠ ميجاوات كهرباء • فاذا فرضـنا ان معامل التحويل من الطاقة الشمسية للطاقة الكهربائية ١٠/ فان هذه المحطة تحتاج الى طاقة شمسية قدرها ١٠^١٠ وات • وحيث أن الطاقة الشمسية الساقطة على سطح الأرض تقدر بمقدار ٥٠٠ كيلو كالورى لكل سم٢ فى المتوسـط اليومى فان ذلك يعنى ٢ر٤ × ١٠ ـ ٢ وات/سم٢ وبذلك تكون مساحة الأرض المطلوبة لتجميع الطاقة ١٠^١٠ وات وهى ٤٢ كيلو متر مربع أى طول ضلعه ٥ر٦ كيلو متر وهذه على الأقل مساحة غير عملية •

الا أنها يمكن أن تلعب دورا رئيسـيا فى الدول التى تمتلك معدلا عاليا لطلوع الشمس على مدار السنة حيث يمكنها استخدام هذا المصدر الذى لا ينضب للطـاقة النظيفة فى الريف ـ الصحارى ـ سواحلنـا الشمالية والشرقية النائية عن المصادر التقليدية فى المجالات :

١ ـ ضخ بتحويل الطاقة الشمسية بواسطة المجمعات الشمسية اللوحية المسطحة + أجهزة الامتصاص Plate Collectors + Absorbers الى حرارة لتشغيل محركات ستفلنج أو غيرها •

٢ ـ تحويل الطاقة الشمسية بواسطة لوحات الخلايا الفوتوفولطية التى تعمل بالألواح الشمسية المسطحة
Flat Plate Solar Photovoltaic Cell Panes

الى طاقة كهربية مباشرة تدير محركات كهربية . علما بأن الحل الثانى أقل تكلفة وعاكس أصغر ومساحة ووزن أقل وزمن تركيب أقل وصيانة أقل .

٣ ـ تحلية مياه البحر باستخدام صهريج شمسى Solar Shell فى تبخير وتكثيف المياه لسعات بين ٢٠ ← ٣٠م٣/يوم (١٠٠ ← ٢٠٠ عائلة × ٥٠ لتر/يوم بين ٥ ، ١٠م٣/يوم) .

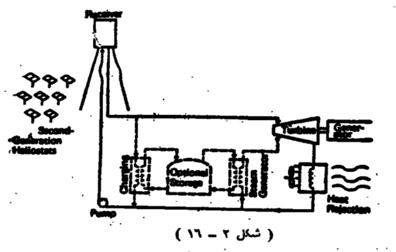
٤ ـ انتاج الطاقة الكهربية فى التجمعات السكانية الصغيرة . ورغم أن التركيز في بعض البلدان يتجه الى استخدام الخلايا الفوتوفولطية الا أن انتاج الكهرباء عن طريق ضوء ـ حرارة ـ طاقة ميكانيكية باستخدام المجمعات المسطحة هو موضع دراسات مكثفة اذ أنها تبشر بامكانية انتاج طاقات كهربية كبيرة فانتاج ١ ك . ويحتاج الى مجمع سطحى مساحته من ٥٠ الى ٩٠م٢ الا أنه يحتاج الى معدلات صيانة أكبر .

٥ ـ التسخين بالطاقة الشمسية وذلك لتدفئة المنازل وتسخين المياه والطبخ وتجفيف المحاصيل حيث المطلوب درجات حرارة أقل من ١٠٠م ويمكن الحصول عليها بواسطة المجمع المسطح والذى يمكن انتاجه محليا .

خامسا : الطاقة الشمسية للعمليات الصناعية ذات الحرارة العالية :

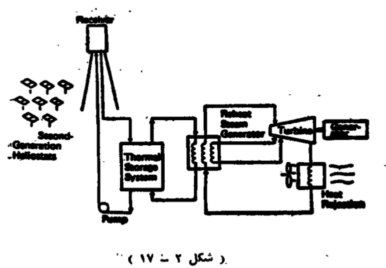
فى الماضى (القريب) استخدم التصميم المبنى على فكرة المستقبل المركزى للطاقة الشمسية ـ مبدئيا فى التطبيق التجارى لتوليد الطاقة الكهربائية ـ ولعل أفضل مثال لذلك محطة « سولار وان » لتوليد الطاقة بولاية كاليفورنيا الأمريكية . وفى هذا التطبيق ـ ونقصد به ما استخدم الكهربائية بقدرة حوالى ١٠ ميجاوات والتى أقيمت بمدينة « بارستو » فى محطة الكهرباء المذكورة ـ لم يكن مطلوبا منا درجة حرارة عالية ومن ثم كان الاكتفاء باستخدام المرايا الدوارة (الهليوستات) والتصميمات الحقلية المعروفة .

الا أنه ـ اذا أردنا استغلال الطاقة الشمسية فى التطبيقات التى تحتاج الى درجة حرارة عالية تصبح هذه التصميمات أقل ملائمة نظرا لقصورها ـ أو عدم تمكنها من ـ فى السيطرة على الزيغان (الانحراف) الضوئى Optical Aberration . علاوة على ذلك ولمعظم التطبيقات ـ فان امكانية وضع المستقبل Receiver ـ على منسوب الأرض بدلا من وضعها فى الهواء على ارتفاعات تبلغ مئات الأقدام ـ له مزية لا يستهان بها .



(شكل ٢ ــ ١٦)

نظام استقبال مركزي شمسي (ماء بخار)



(شكل ٢ ــ ١٧)

نظام استقبال مركزي شمسي (صوديوم سائل)

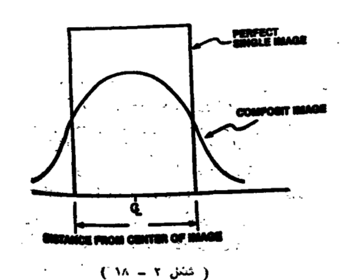
وعند درجات الحرارة أعلى من ١٠٠٠ درجة كيلفن فان معظم المواد تشع طاقة تماما مثل الأجسام السوداء • واعادة الاشعاع Reradiation هذا يصير الأسلوب السائد لفقد الطاقة (أى عدم كفاءة المستقبل) حيث أن هذا الفقد فى الطاقة يزيد مع الأس (القوة) الرابع لدرجة الحرارة المطلقة وهذه الحقيقة من شأنها أن تحد من قيمة أقصى درجة حرارة للمستقبل يمكن الوصول بها • ولهذا السبب فاننا نجد أن أجهزة استقبال الاشعاع الشمسى Receivers التى تستخدم لتطبيقات الحرارة العالية تصمم بحيث تكون ذا تجويف داخلى (أى المستقبل الذى يسمح بدخول الطاقة المنعكسة الى داخله من خلال التجويف Aperture) واذا أردنا المزيد من الاجراءات لاقلال (لنقصان) الفاقدات نتيجة اعادة الاشعاع فيمكن أن نخفض القدرة الانبعاثية (الاصدارية) (Emissivity لجهاز الاستقبال (وفى أغلب الأحيان لا يمكننا أن نخفض هذه القدرة كثيرا) •

وهنالك بديل آخر وهو بزيادة تركيز الطاقة الشمسية المنعكسة بحيث يمكن امرارها خلال مساحة صغيرة • والتعريف المستخدم لتوصيف هذا التركيز للقدرة هو ما يطلق عليه بكثافة الفيض (أو التدفق) Flux Density ويعبر عنه بالوحدات وات لكل متر مربع • وبزيادة كثافة الفيض يمكن تغذية كل القوى (القدرة Power) المتاحة الى جهاز الاستقبال من خلال فتحة أصغر Smaller Aperture وعلى الرغم من تغذية نفس القدرة الى جهاز الاستقبال فان ميزة الفتحة الأصغر هى تقليل (خفض) الفاقدات من اعادة الاشعاع • وهذا بالتالى يمكن أن يزيد من درجة الحرارة الممكن التوصل اليها •

وبالنسبة لنظام الاستقبال المركزى فيمكن تغذية الفيض الشمسى بواسطة حقل من المرايا الدوارة ــ (الهليوستات) • وتتوقف درجة تركيز القدرة ــ والذى يمكن تحقيقه ــ على الامكانات الضوئية (البصرية) للهليوستات • ولكى تحصل على أعلى كثافات ممكنة لكثافات الفيض الشمسى فلابد أن تكون الصورة Image التى يمكن لمجموعة الهليوستات أن تنتجها أصغر (وبالتالى أفضل ضبط بؤرى ومن ثم أوضح) ما يمكن •

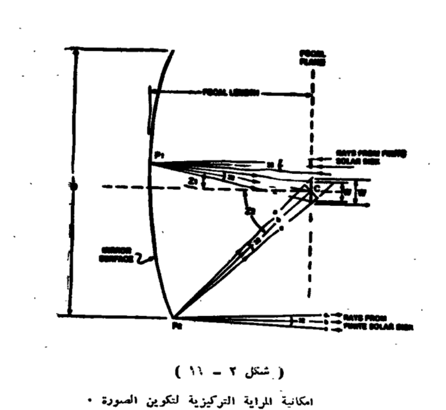
الاعتبارت الضوئية (البصرية) Optical Consideration

المعروف أن وظيفة النظام الضوئى (البصرى) هو تشكيل Formation صورة للشمس على تجويف أو فتحة جهاز الاستقبال • وعلى الرغم من امكانية حقل من المرايا المسطحة الدوارة Flat Helicstats



(شكل ٢ ـ ١٨)

الصورة الشمسية الكاملة والصورة المركبة بواسطة المستقبل المركزى.

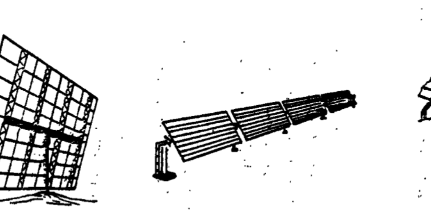


(شكل ٢ ـ ١٩)

امكانية المراية التركيزية لتكوين الصورة •

القيام بهذه الوظيفة فان امكانيــة التركيز البؤرى (الضــبط البؤرى Focusing الزائدة للمرايا الدوارة المقعرة Concave من شأنه خفض حجم الصورة وزيادة كثافة الفيض . فالمرايا الدوارة التقليدية تضم - وبشــكل عام - عددا من قطع دائرية Segments منفصلة من المرايا المنحنية (المقوسة) (curved) وتضبط هذه القطع بحيث يصير السطح الكلى للمراية الدوارة (الهليوستات) قريبا من سطح الكرة ويكون أعلى كثـافة فيض - بالنسـبة للهليوســتات التركيز - عند البعد البؤرى للهيلوستات . وكما نعلم فان البعد البؤرى لأى مرآة يتوقف على أنحناء (تقوس) سطحه . وتعرف المراية التركيزية الكروية Spherical Concentrating Mirror بقيمة مفردة لنصف قطر التقوس (الانحناء) وببعد بؤرى يعادل ربع (¼) قطر التقوس أو الانحناء فاذا تم اختيار نصف الانحنـاء (التقوس) بحيث يعطى مراية الهليوستات بعد بؤرى يساوى المسافة بينها (أى المراية) وبين جهاز الاستقبال (أى مدى أو شــوط القذف أو الرمى throw distance) فان الطاقة المنعكسـة بواسطة هذا الهليوستات سوف تمر خلال أقل مساحة ممكنة وبالتالى تنتج أعلى كثافة للفيض الشمسى عند فتحة جهاز الاستقبال .

ومساحة مقطع صـــورة شمسية كاملة - بافتراض قرص شمسى Solar Disk بكثافــة منتظمــة - تنتجهـا مراية تركيز بؤرى منفردة Single Focusing Mirror كما هو موضح بالشكل (٢ - ١٩) حيث نرى أن الطاقة موزعة بالتساوى فوق الصــورة . وأى مستقبل (جهاز استقبال) ذى فتحة aperture قطرها يعادل قطر الصــورة يمكنه أن يحتجز Capture جميع الطاقة المنعكسة . والمظهر الجانبى Profile للفيض - عند مستوى فتحة المستقبل - لجميع نظم الاستقبال المركزى الحقيقية (والتى تستخدم استراتيجية نقطة هدف واحدة مقابل عدة نقط أهـداف) هى تركيبة من الصـــور المسقطة Projected بواسطة كل وحدة هليوستات داخل الحقل . وحيث أن كل من هــذه الصورة المفردة مختلفة (أساسا بسبب الاختلافات الفردية فى كل شوط أو المدى القذفى Thraw Distance وزاوية المسـار بعيدا عن المحور Off-axis Tracking Angle) فان المظهر الجانبى (بالشكل ٢ - ١٨) له أعلى (أقصى) كثافة فى المركز والتى تضمحل كلما تحرك الشخص قطريا Radially نحو حافــة الفتحة . وتتــابع هذا المظهر الجانبى Profile أنه فى ملاحقة درجات الحرارة العالية (بالنسبة لنظام ما) فتجعل (أو تصنع) فتحة المستقبل أصغر . وهذا يسمح فقط لطاقة الفيض المركزى العالية بالدخول الى الفتحة - والذى يزيد من متوسط



(شكل ٢ ـ ٢٠)

طرازات أو طرق التصفيف (أ) توجيه بمحورين (ب) توجيه بمحور (جـ) ساكن أى بزاوية توجيه ثابتة .

كثافة الفيض الداخل الى التجويف Cavity وثمن ذلك (الغرامة Penality) هو فقدان الطاقة المحيطة (الطرفية) Peripheral Energy والتى تسكب أو تراق Spillerd · وكلما اقترب التشابه بين الشكل الجانبى للفيض وبين الشكل الجانبى للصورة الكاملة Perfect Image كلما كانت الطاقة المجمعة المفيدة (المستخدمة) الى الطاقة المسكوبة أو المراقة ·

الاعتبارات التصميمية العامة : علاوة على القواعد الضوئية فهنالك نقاط أخرى يجب مراعاتها تصميم محطات ـ تعمل بالطاقة الشمسية ـ لخدمة العمليات الصناعية وهى :

١ ـ من المرغوب فيه أن يكون مصدر الطاقة أقرب ما يمكن بالنسبة لنقطة الاستخدام · وبالنسبة لنقطة الاستخدام للعمليات المميزة بحراراتها العالية ـ أو تلك العمليات ذات النشاط الضوء كيماوية Photochemical يتطلب الأمر الاستخدام المباشر لفيض الطاقة الشمسية ·

هنالك نقطة أخرى يجب مراعاتها وهى ـ فى العادة ـ فان رجال الصناعة دائما ما يكونون متخوفين ـ أو مترددين ـ ازاء قبول الأفكار الجديدة · ولكى يتقبل رجال الصناعة هذا الشكل الجديد للطاقة ينبغى جعل مرحلة الانتقال أبسط وأيسر ما يمكن · ومن بين هذين الاجراءات الاستفادة القصوى من كل من المعدات والعمليات التجهيزية القائمة أصلا فى الصناعة ·

٢ ـ ان معظم العمليات الصناعية تستخدم الحرارة ـ أو الطاقة الحرارية ـ فى أكثر من نقطة داخل العملية · وعلى الأخص اذا استخدمت عملية الامتصاص المباشر للطاقة الشمسية فان امكانية ـ تغيير المنطقة البؤرية Focal Zone للمفاعلات المختلفة المتواجدة فى نفس المنطقة ـ يكون غاية فى الأهمية · كذلك هذا يسمح باستخدام مهمات احتياطية ـ أو بديلة فى حالة عطل المهمات الرئيسية ·

٣ ـ عدد أيام تشغيل بطول ثابت خلال العام · وهذا يسمح بحجم ثابت لقوة العمل وبالتالى خرج Output موزع بالتساوى على مدار العام ·

٤ ـ أقل استخدام للأرض (أقل مساحة ممكنة) فبينما نجد أن محطة توليد الكهرباء التجارية تكون ـ غالبا ـ فى المناطق الريفية نجد أن المنشآت الصناعية فى أغلب الأحيان تكون قريبة من المناطق الحضرية حيث تكون أسعار الأراضى أعلى وبشكل ملحوظ · لذلك فمن الأهمية

بمكان استخدام تصميمات أعلى تكثيف (أو دمج) للمرايا الدوارة (الهليوستات) .

٥ ـ تصميم النظام بحيث تكون عمليات الصيانة بسيطة .

تصميم النظام : على ضوء الاعتبارات العامة ـ المشار اليها بعاليه . وعلاوة على الخطوط الاسترشادية الضوئية أمكن التوصل الى النظام التالى وهو يتضمن مركبتين أساسيتين يمكن استخدام كل منها على حده بأكثر من تصميم تقليدى أو بشكل هارمونى للاستفادة من مزايا كل منها . وهذان التصميمان هما : ـ

ـ مصفوفة الهليوستات (المرايا الدوارة) الموحد
Unified Heliostat Array (UHA)
ـ هليوستات فيدا الصناعى (VIH) Veda Industrial Heliostat

(أ) مصفوفة المرايا الدوارة الموحدة
Unified Heliostat Array (UHA)

وهو عبارة عن مصفوفة من محورين Two-Axis من المرايا الدوارة المتابعة لمسار الشمس Tracking ومركبة على حائط مدرج مواجهة للجنوب (الناحية القبلية) والحائط من هيكل واحد . وتصف (أو ترتب) هذه الحوائط المدرجة في الاتجاه شرق ـ غرب وتثبت المرايا الدوارة (الهليوستات) الى هذه الحوائط المدرجة بحوامل (أو قواعد (Pedestal Mounts . وبالنسبة لنصف الكرة الشمالى (خطوط العرض من صفر فأعلى شمالا) ترتب الحوائط المدرجة الى أعلى Stepped Upward اتجاه الشمال الجغرافى ويوضع المستقبل جنوب هذا الهيكل أو المجموعة . أما الميل Slope الشامل للمدرج فيتوقف على خط عرض الموقع .

ويتم تنسيق المرايا الدوارة على المصفوفة بحيث يمكن التخلص من أو التحكم فى ومنع الحجب (التظليل) ما بين هذه المرايا . وكل من هذا المنع أو الحجب ـ اتساع خطوة التدرج ـ ارتفاع الجزء القائم من هذا التدرج وكذلك المسافة Spacing ما بين المرايا الدوارة (الهليوستات) على طول المدرج (مصطبة Terrace) جميعها تتوقف على كل من حجم المرايا الدوارة والميكانيزم الذى يسوقها .

وبالنسبة لنظم الاستقبال المركزية يمكننا الحصول على نسبة كثافة للهليوستات أعلى (ويقصد بها نسبة اجمالى المساحة السطحية للهليوستات

الى مساحة الحقل المغطاة بهذه المرايا) اذا ضحينا Sacrifice بدرجة من الأداء أثناء كل من الصباح الباكر وقبل الغروب نتيجة لزيادة كل من التظليل Shading أو الحجب ما بين المرايا الدوارة • وبالسماح – فقط – بدرجة متوسطة من التظليل والحجب خلال هذه الأوقات فيمكن لنسبة كثافة للهليوستات Heliastat Density مقدارها ٦٠٪ أن تتيح الصفوفة الهليوستات الموحدة (PHA) تجميع قدره ٢م ٠و٠ لكل فدان من الأراضى المستخدمة • هذا وقد أمكن – فى بعض التطبيقات المعينة – عمل تصميمات بحيث ينتج عنها كثافات للهليوستات بلغت ٩٥٪ •

وهنالك ميزة أخرى لزيادة أو رفع كثافة الهليوستات وهو أن ذلك من شأنه تسهيل عملية الصيانة كثيرا فعلى سبيل المثال يمكن جعل عملية تنظيف المرايا بشكل آلى Automatic بتركيب نظام رشاش للتنظيف •

وبالنسبة لخطوط عرض ٣٥° فان زاوية ارتفاع أقل من ١٥° لمدة أطول من ساعة بعد شروق الشمس وكذلك لمدة أطول من ساعة قبل الغروب • وعند زاوية ارتفاع الشمس ١٥° فلا يزال هناك مجال أفقى مظلل جزئيا • وبذلك يكون يوم العمل بالنسبة لحقل أفقى (أى أن المرايا الدوارة أو الهليوستات مركبة على الأرض مع جهاز استقبال مركب على برج) عند الانقلاب الشتوى Winter Solstice يصبح محدودا بحوالى ٦ ساعات فقط ولكن هذا (يوم العمل) يمتد الى حوالى ١٠ ساعات عند الاعتدالين (الربيع والخريف) والى ١٢ ساعة فى أول الصيف (الانقلاب الصيفى أى ٢١ يونيو) • وبالمقارنة نجد أن تظليل كل من الصباح الباكر وما قبل الغروب لصفوفة الهليوستات الموحدة (UHA) تكون أسوأ ما يمكن فيما بين الاعتدالين والانقلاب الصيفى بينما يكون كل من الفاقد فى التظليل Shading والمنع Blocking صفرا (أى يتلاشى هذا الفاقد) وقتما تكون الشمس فوق الأفق • وفى أوقات السنة حول الانقلاب الشتوى (٢٢ ديسمبر) عندما تكون الشمس ما زالت عند ارتفاع أقل من ١٠° درجات تكون القدرة المرسلة الى فتحة جهاز الاستقبال (المستقبل) بواسطة أو من خلال الصفوفة UHA – أعلى من ٥٠٪ من تلك المرسلة الى هذه الفتحة عند وقت الظهيرة المحلى • ومن ثم فان يوم العمل لصفوفة UHA يكاد يكون طوله ١٠ ساعات عند الانقلاب الشتوى ويتغير هذا الطول فى حدود ½ ساعة مثلا على مدار العام •

هنالك ميزة أخرى هامة من خصائص تصميم مصفوقة UHA الا وهى التغير الطفيف فى مدى ــ أو شوط القذف Thraw Distance بالنسبة لحقل ما من الهليوستات • وهذا الخفض أو النقص فى التغيير هو هدف مرغوب فى حد ذاته بالنسبة لتصميمات أجهزة الاستقبال المركزية فهنالك ميزة اقتصادية (سواء من حيث التصنيع أو الصيانة) لصنع كل المرايا الدوارة (الهليوستات) فى حقل واحد متماثلة • وجدير بالذكر فان النسبة ما بين أطول الى أقصر مدى للقذف لمصفوقة UHA هى حوالى ١/٢ بينما نجد أن هــذه النسبة لحقل أفقى مثل مشروع « سولار وان » تبلغ ١/٤ •

والطــاقة المنعكسة يمكن توجيهها ــ وفى نطاق محدود ــ الى أى واقع أسفل أو أعلى أو على جانبى (شــمال ــ جنوب) خط المنتصف Centerline لمصفوقة UHA مع خفض ضئيل فى الكفاءة • وهــذه الامكانية تتيح لمصفوقة واحدة من UHA تزويد الطاقة لواحد أو أكثر من أجهزة الاستقبال الموضوعة بشكل يلائم احتياجات المستفدين •

(ب) هليوستات (المرايا الدوارة) فيــلدا الصــناعية VIH :

وهذا يتضمن مراية واحدة بشكل حلقى Toroidal مركبة على استوائية Equatorial Drive • وننوه هنا الى أن بالنسبة للأشكال الحلقية ينبغى دقة التوجيه لنحصل على كفــاءة عالية لهذا الشكل من المرايا • فلذلك نجد أن المرايا الدوارة (الهليوستات) التقليدية لأنظمة الاســتقبال المركزية تستخدم نظم ســواقة Drive Systems من نوع السمتى/الرأسى (Azimuth Elevation (Az El لتوجيه المرايا وبينما نجد أن هذا النوع من السواقات قادر على اعكاس الشعاع الشمسى الى جهاز الاستقبال الا أن الهليوستات يبدو وكأنه يدور حول محوره بالنسبة لمستوى الشمس ــ الهليوستات ــ جهاز الاستقبال بما يصل الى ١٨٠° درجة وأحد الحلول لذلك هو استخدام التركيب الاستوائى Equatorial Mount وهــذا الأخير يمــاثل النوع Az-El ماعدا أن المحور السمتى للدوران يوجه بحيث يوازى محور دوران الأرض • وهذا التنسيق (الترتيب) من شــأنه أن يحد من دوران الهليوستات الى مدى حوالى ٢٠° درجــة •

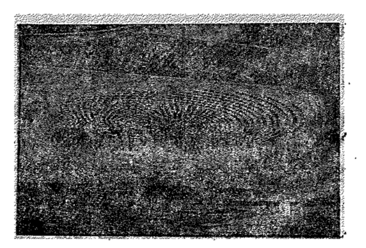
هنالك عنصر آخر للهليوستات يجب أخذه فى الاعتبار وهو نسب الابعــاد Ratio of Dimensions فأبعاد المرايا يمكن ضبطها بحيث تحصل على أقصى أطوال للصور المناسبة Tangential والسهمية Sigittal تســاوى نفس القيمة (أو متســاوية) • ونتيجة لذلك

تحصل على أصغر صورة يمكن الحصول عليها من الهليوستات على مدى اليوم والسنة ٠ وهذا بالتالى يؤدى الى أعلى متوسط لكثافات الفيض الشمسى ٠

والخلاصة : أن نوعية الصورة (أى صورة الشمس) يعتبر ذى أهمية أولى للحصول على متوسطات عالية لكثافة الفيض الشمسى واللازمة لتوليد درجات حرارة من نظام الاستقبال — أعلى من ١٠٠٠ درجة كلفن والأثر المنبط Degrading الرئيسى على الصور المسقطة على المرايا الدوارة (الهليوستات) هو أثر اللابؤرية Astigmatism ٠ وينتج هليوستات فيدا الصناعى VIH متوسط كثافة فيض عال عند فتحة جهاز الاستقبال والتى هى ذات شكل دائرى تقريبا ٠ وحجمها ثابت نسبيا على مدار اليوم والسنة ٠ وهذا راجع لقدرة VIH على تخفيض هذا الزيغ الضوئى (أو الانحراف Aberration) الى أقل ما يمكن ٠ وهذا يتيح استخدام أصغر فتحة لجهاز الاستقبال لكمية معينة (معطاة) من الطاقة المجمعة ومن ثم أعلى درجة حرارة ٠

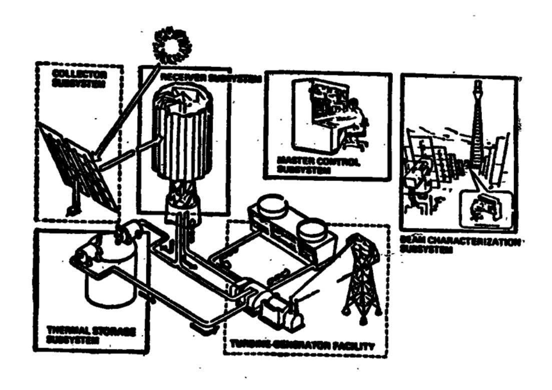
وتخفض تصميم مصفوفة UHA الحجم المحدود للشمس على كثافة الفيض بالسماح لتخفيض متوسط المسافة ما بين الهليوستات وجهاز الاستقبال ٠ كذلك يتيح استخدام منطقة بؤرية على أساس أرضى Ground Base Focal Zone وهذا فى حد ذاته يعتبر عامل جذب لمستفيدى الطاقة الصناعية حيث أنها — أى UHA — الطاقة فى نفس موقع استخدامها ٠ أى تقلل الفاقدات الحرارية فى عملية النقل وكما تتيح استخدام مهمات تشغيلية (تجهيزية) تقليدية (متاحة تجاريا) ٠ هنالك علاوة على ذلك سمات ايجابية تشمل ما يلى : —

— كثافة عالية لدمج Packing الهليوستات (أقل مساحة أرض) ٠
— ضبط Positioning متغير للمنطقة البؤرية ٠
— طول ثابت لأيام العمل على مدار العام ٠
— تبسيط لعمليات الصيانة ٠



(شكل ٢ - ٢١)

منظر عام بمحطة « سولاروان » بصحراء موجيف الأمريكية وهى من النوع « البرجى » أو « برج القوى » ويبدو أن هــذا الطراز هو أكثر وسائل توليد الكهرباء من الشمس اقتصادا والمعروفة حتى اليوم .



(شكل ٢ - ٢٢)

المنظومات الفرعية الأساسية لنظام « سولاروان » .

سادسا : دراسات لبعض مشروعات الطاقة الشمسية فى أنحاء العالم :

١ ـ محطة الاستقبال الشمسية المركزية « سولاروان » (١) بقدرة ١٠ ميجاوات :

محطة الاستقبال الشمسية المركزية ـ سولار ١ بقدرة ١٠ ميجاوات تقع بالقرب من مدينة بارستو بولاية كاليفورنيا الأمريكية تم تركيبها والانتهاء من اختباراتها ـ والتى دامت عامين كاملين ـ فى ٣١ يولية ١٩٨٤ . وأمكنها انتاج طاقة كهربائية ـ خلال ثلاثة أعوام ـ ما مقداره ٣٩١٣ ميجاوات ساعة بينما أمكنها انتاج ١٠١٤ ميجاوات ساعة خلال شهر ابريل ١٩٨٥ فقط .

وجدير بالذكر فان هذا المشروع هو ثمرة تعاون تام ما بين الحكومة وبين القطاع الخاص الصناعى وعلى الرغم من أن الهدف الأول للمشروع كان أساسا لعمل الأبحاث اللازمة على محطة ريادية لاجراء الاختبارات على تكامل النظم المتضمنة فى هذا المشروع الريادى والذى يتضمن ستة (٦) مكونات من النظم الفرعية وتقوم شركة أديسون الكهربائية بتشغيل هذه المحطة حاليا .

وبالنسبة لموقع المشروع فقد تم اختياره نظرا لتمتعه بمعدل اشعاع شمسى عال (يعادل حوالى ٢٠٠٠٫٠٠٠م °و٠س٠ من الطاقة الحرارية الساقطة من الاشعاع الشمسى سنويا) واتاحة مساحة تبلغ حوالى ١٢٥ فدان . كما أن المياه اللازمة متاحة علاوة على القرب من الشبكة الكهربائية لشركة أديسون الأمريكية .

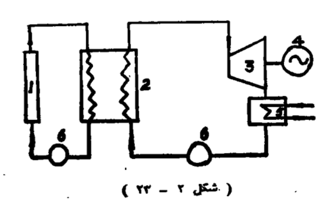
توصيف المشروع : كان بدأ تشغيل المحطة فى ابريل ١٩٨٢ وتكلفت اجمالى الاستثمارات لها مبلغ ١٤١٫٢ مليون دولار . والمحطة عبارة عن توليف ـ أو تكامل ـ لتشغيل ٦ (ستة) نظم رئيسية هى :

١ ـ النظام الفرعى للتجميع الشمسى — Collection Subsystem

٢ ـ النظام الفرعى للاستقبال الشمسى — Receiver Subsystem

٣ ـ النظام الفرعى للتخزين الحرارى — Thermal Storage Subsystem

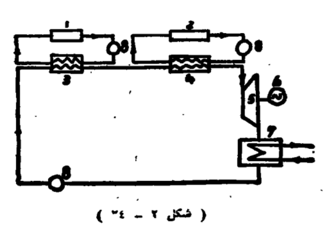
٤ ـ النظام الفرعى للتحكم السيادى (الرئيسى) — Master Control Subsystem



(شكل ٢ – ٢٣)

شكل كروكى لبيان مكونات محطة شمسية حيث .

١ – المجمع
٢ – المبادل الحرارى
٣ – التوربين البخارى
٤ – المولد الكهربى
٥ – المكثف
٦ – المضخة



(شكل ٢ – ٢٤)

شكل كروكى لبيان مكونات محطة شمسية بمجمعين

١ – مجمع الحرارة المنخفضة
٢ – مجمع الحرارة العالية
٣ – مسخن
٤ – مبخر
٥ – توربين بخارى
٦ – مولد كهربى
٧ – مكثف
٨ – مضخة

٥ ـ **مجموعة التوربين/مولد كهربى**

٦ ـ **النظام الفرعى لتمييز الحزم الاشعاعية**
Beam characterization Subsystem

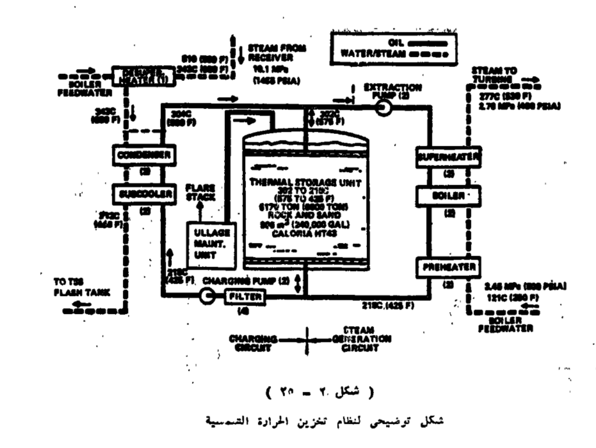
ويتكون النظام الفرعى للتجميع الشمسى من ١٨١٨ من المرايا الدوارة المتعقبة (المتتبعة) للشمس (والتى يطلق عليها الهليوستات Heliostat) والتى تقوم بتركيز الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض واعادة توجيهها الى مستقبل مركب على برج (أى غلاية) على ارتفاع يبلغ ٩١ مترا فوق الأرض الصحراوية • ويتكون كل هليوستات من ١٢ لوحة من المرايا المقعرة قليلا وبمساحة اجمالية تبلغ ٤٠ متر مربع من أسطح المرايا • وتركب تجميعات هذا المرايا على محرك • يقرن بها من خلال تروس ـ للتحكم فى التوجيه للاسقاط الشمسى (السمتى azimuth) والاسقاط الرأسى •

وتنظم لوحات المستقبل على شكل اسطوانة رأسية بقطر ٧ متر • أى بمساحة سطحية اجمالية ٣٠٢ متر مربع • وتتكون كل من الأربعة وعشرين (٢٤) لوحة من ٧٠ ماسورة ذات قطر داخلى ٦٩ر٠ موطول كل لوحة ٧ر١٣ متر •

أما **نظام التخزين الحرارى** : فيوفر سعة تخزين حرارية تعادل ٢٨م •و•س• وذلك لمد أو التوسع فى سعة التوليد الكهربائية الى وقت الليل أو خلال فترات الغيوم • كما توفر البخار اللازم لكل من أغراض الصيانة والتشغيل من الحالة الدافئة (الساخنة (Warm Start أثناء الصباح • ويحتوى خزان التخزين الحرارى (والذى يبلغ قطره ٨ر١٩ • وارتفاعه ٧ر١٣ متر) ٧٠٠٠ (سبعة آلاف) طن من الصخور علاوة على ٠٠٠ر٢٤٠ جالون من الزيت الحرارى •

أما **النظام الفرعى للتحكم الرئيسى** فهو عبارة عن سلسلة من الحاسبات الالكترونية لتمكين السيطرة على المحطة من داخل غرفة التحكم الرئيسية • فتنقل حوالى ٣٠٠٠ (ثلاثة آلاف) من القياسات المنفصلة (غير المترابطة discrete) الى نظام التحكم الرئيسى حيث تحلل وتسجل هذه القياسات • أما التحكم فى المحطة فيتم من خلال شاشات (استظهار) فيديو للمراقبة Monitors والأقلام الضوئية Light Pens .

ومجموعة التوربين/مولد كهربى سعة ٥ر١٢ م•و• لها مدخلين (فتحتين) لدخول البخار الأول لبخار المستقبل ذى الضغط العالى (١٤٥٠ رطل/بوصة مربعة ـ ٩٥٠ درجة فهرنهيت) والثانى لبخار



(شكل ٢ - ٢٥)

شكل توضيحي لنظام تخزين الحرارة الشمسية

التخزين الحرارى ذى الضغط المنخفض (٣٨٥ رطل/بوصة مربعة ـ ٥٢٥ درجة فهرنهيت) ٠

ويستخدم النظام الفرعى لتمييز الحزم الاشعاعية لتدريج Calibrate الحزم الاشعاعية لكل هليوستات منفردة بالنسبة لنقطة الهدف الخاصة بهـا والواقعـة على المستقبل سـواء شكل الحزمة أو كثـافة القدرة Power Density لهذه الحزمة ٠

معاملات التصميم الابتدائيـــة **Initial Design Parameters**

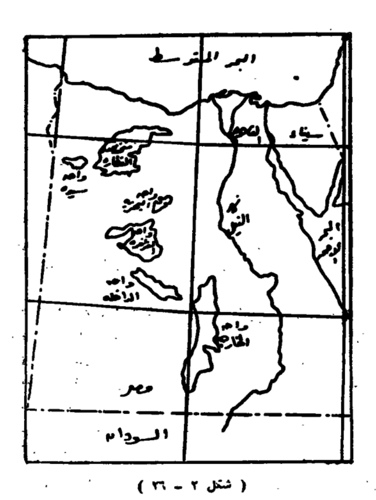
صممت المحطة لانتاج قدرة كهربائية لتغذية الشبكة الكهربائية لا تقل عن ١٠م٠و (بعد تغذية مساعدات المحطة) ولمدة ٤ ساعات (لأسوأ يوم من الناحية التصميمية Worst Design Day) ولمدة ٧ر٨ ساعة (لأفضل يوم من الناحية التصميمية Best Design Day)وفى الظروف المثالية للتشغيل تقدر الطاقة الصافية المرسلة الى الشبكة بحوالى ٢٨ر٠٠٠ م٠و٠س سنويا ويصمم المستقبل لانتـاج بخار تحت ضغط ١٤٦٥ رطل بوصـة مربعة (مطلق) وبمعدل تدفق ١١٢ر٠٠٠ رطل/ساعة والقدرة الكهربائية المحول من الطاقة الحرارية المختزنة صممت على أساس ٧م٠و٠ كذلك صممت المحطة لتعطى أقل حمل ٢م٠و٠ (أى نسبة الحمل المقنن الى أقل توليد ٥ر : ١) ويمكنها أن تعمل بحد أدنى للاشعاع الشمسى ٤٥٠ وات/ متر مربع ٠

واهم ما تمخضت عنه الاختبارات :

أثناء مرحلة الاختبارات أمكن لمحطة « سولار وان » أن تصل الى سعتها المقننة المطلوبة وهى ١٠م ٠ وصافى (أمكنها تحقيق ٤ر١٠ م٠و) من بخار المستقبل و٧م٠و٠ (صافى أمكنها تحقيق ٣ر٧م٠و٠) من بخار التخزين الحرارى ٠ وكانت المحطة تعمل أقل من مستوى ٤٥٠ وات/متر مربع (أمكن تحقيق ٣٠٠ وات/متر مربع) وأمكنهـــا العمل بنســبة Turn-down (الحمل المقنن/أقل تحميل لمجموعة التوليد) وصلت الى ٢٠ : ١ (اى أن أقل توليد يعادل ٥ر٠م٠و) ٠

تحقق أثناء الاختبارات من امكانية تشغيل المحطة بأمان وبدرجة عول (ثقة عالية) وبنفس الكادر البشرى لتشـــغيل المحطات الحرارية التخليدية ٠

وأخيرا يمكن أن نقول انه ـ وعلى الرغم من أن محطات الاستقبال المركزية من المحتمل مستقبلا أن تستخدم موائع ـ أكثر تقدما مثل الملح



(شكل ٢ ـ ٣٦)

خريطة مبسطة جمهورية مصر العربية مبينا بها موقع واحـة الفرافرة

اللازمة لضخ المياه من خزانات المياه الجوفية Aquifiers ـ القدرة اللازمة لتوزيع هـذه الميـاه الى المحاصيل الزراعية ـ ولدعم الصناعات الخفيفة المصاحبة أو اللازلة لعمليات تجهيز (اعداد) المنتجات الزراعية ٠ أما الاسـتخدامات المنزليـة فتتضـمن توزيع القوى الكهربائيـة التى يستخدمها قاطنى (ساكنى) هذه القرية أو الواحة ٠ ووجه أن متطلبات القوى الكهربائية اللازمة لهذا الموقع البالغ مساحته ٥٠٫٠٠٠ فـدان تتضمن : ـ

ـ من ١٠ الى ١٥ ميجاوات للاستهلاك أو الاستخدام الزراعى ٠

ـ ٦٫٥ ميجاوات للاستخدام المنزلى والصناعات الزراعية الخفيفة ٠

المنصهر ــ كوسائط لنقل الحرارة الا أن البيانات التصميمية والتشغيلية لمحطة « سولار وان » أفادت ــ وسوف تفيد دون شك مرحلة الانتـاج التجارى لمحطات الاستقبال الشمسية المركزية فى الأعوام القـادمة ان شاء الله ٠

٢ ــ دراسة جدوى مبدئيـة لتركيب استقبـال حرارية مركزية تعمل بالطاقة الشمسية بواحة الفرافرة بجمهورية مصر العربية :

فى عام ١٩٨٤ تم الانتهاء من دراسة جدوى مبدئيـة لاقامة محطة استقبال مركزية حرارية تعمل بالطاقة الشمسية Solar Thermal Central Receiver (STCR) Power Stn. وفى هذه الدراسة تم تقييم المتطلبات (الحالية) والمتوقعة من القوى الكهربية اللازمة لاستصلاح الأراضى بواحة الفرافرة ودراسة امكانية توفير هذه الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة الشمسية ومن ثم عمل خطة للتصميم ولتطوير المحطة المطلوبة ٠ وقامت فعلا وزارة التعمير المصرية بتكليف مكتب استشارى أمريكى/مصرى (مؤسسة مارتن ماريتا) مع المركز العربى لدراسات التعمير والاستشارات لعمل هذه الدراسة تأسيسا على المعلومات المستفادة من وزارة التعمير وهى : ــ

ــ سعة نظام القوى المطلوب ٥ر٢١ م٠و٠ لخدمة ٥٠٫٠٠٠ فدان ٠

ــ معامل السعة ٧٥٪ ٠

ــ فترة تخزين للأملاح المنصهرة ١٨ ساعة ٠

وأوصت الدراسـة ببناء محطة (STCR) سعة ١ ميجاوات فقط ــ كمحطة ريادية ــ لخدمة الخمسة آلاف فدان الأولى وذلك كبيان عملى لمدى تأثير هذه التقنية ٠

ولقد تم اختيار هذا النظام (STCR) نظرا لامكانية هـذه التقنية تزويدنا بمستويا تمعقولة من القوى (الطاقة) المركزية خلال أى من الليل أو النهار وذلك لخدمة أغراض الرى ــ والانارة والأغراض التجارية والصناعات الزراعية ٠

متطلبات القدرة : متطلبات القدرة لموقع الفرافرة لابد وأن تكفى لموقع مساحته ٥٠٫٠٠٠ فدان وما يحتاجه هـذا الموقع من استخدامات زراعية ومنزلية ٠ أما الاستخدامات الزراعية فتتضمن القدرة (أو القوى)

SUN
RECEIVER
HOT SALT STORAGE
COLD SALT STORAGE
SUPERHEATER
EVAPORATOR
PREHEATER
COLLECTOR FIELD
FEEDWATER HEATER
TURBINE/ GENERATOR
CONDENSOR
COOLING TOWER
SALT LINE
WATER/STEAM LINE

(شكل ٢ ـ ٢٧)

شكل توضيحي لبيان تكوين محطة الاستقبال الشمسى المركزية

وذلك تأسيسا على افتراض تشغيل ٢٤ ساعة يوميا • لذلك فقد استخدمت الدراســـة الرقم الاجمالى ٥ر٢١ ميجاوات كخط أســاسى Baseline لتحديد حجم نظام القوى STCR لهذا الموقع البالغ مساحته ٠٠٠ر٥٠ فدان •

وجزء من الخمسة عشر (١٥) ميجاوات ـ أى متطلبات الضخ ـ ستظل مطلوبة (على الرغم من وجود المياه الجوفية تحت ضـغط كاف يتروح ما بين ٤ الى ١٠ ضغط جوى) لتوزيع هـذه الميـاه باستخدام أسلوب الرى بالرش Sprinkler أو التنقيط •

التصميم المبدئى : صمم النظام ليعمل بكفاءة ـ وبسعة ٥ر٢١ م٠و٠ ـ لتجميع الطـاقة الحرارية ذات درجـة الحرارة العـالية داخل مائع Fluid عبارة عن ملح منصهر ويتم من خلال استخدام عدد كبير من المرايا الدوارة Heliostats لتعكس الأشعة الشمسية الساقطة عموديا عليها الى جزء مستقبل Receiver مركزى ويدار (يلف) مائع الملح المنصهر ـ (وهو عبارة عن ٦٠٪ من وزنه نترات الصوديوم (KNO) + ٤٠٪ من وزنه نترات البوتاسيوم Na NO) داخل المستقبل Receiver حيث يسخن بواسطة أشعة الشمس المسلطة عليه • ويمكن استغلال هذا المائع الساخن أما مباشرة لتوليد بخار عالى الضغط والحرارة من خـلال سلسلة متتابعة (متوالية) من المبادلات الحرارية والذى (أى البخار) يستخدم لادارة مجموعة توربين/مولد لتوليد الكهرباء • أو بتخزين المائع الملحى (المنصهر) بكميات كبيرة لاستخدامه طوال الليل والنهار لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام نفس العملية المشار اليها • ويبين الشكل (٢ ـ ٢٧) العناصر الرئيسية لهذه العملية •

ويتمتع النظام المصمم على شكل مراحل نمطية Modular System بعدة سمات لها جاذبية من الناحية المالية فمثلا الانفـاق من الرأسمال الأصلى (الابتدائى) أقل كثيرا بالنسبة للمحطات الأصغر كما أن تمويل الأنماط المضافة Additional Modules يمكن تحقيقه ببساطة ويسر حيث أن زيادة الطلب على القدرة (القوى) يعكس شعورا لدى المولين بنجاح المشروع •

أما المشروع المقترح لواحة الفوافرة فيتضـمن كذلك محطة قوى تعمل بالديزل كمصدر احتياطى لمواجهة حالات الطوارىء (وهذا تصميم تقليدى بالنسبة لأى موقع نائى) والقوى الكهربائية ضرورية لتشغيل النظام الشمسى أثناء بدء تشغيله وكذلك أثناء الفترات التى لا يولد فيها

النظام أى طاقة كهربائية ويمكن لمولد الطوارىء (الديزل) أن يمد الاستخدامات – ذات الطبيعة الخاصة والتى لا تتحمل انقطاع التيار الكهربى – بالطاقة الكهربائية اللازمة (مثل المستشفيات أو نظم الاتصالات) فى أوقات عدم توليدها من النظام الشمسى STCR

والكفاءة الكلية لمشروع (المحطة) المقترح تبلغ ١٨٪ . أما الخرج الصافى من المحطة (سعة ٢١٫٥ م.و. وبافتراض معامل سعة يعادل ٧٥٪) يصبح ١٤١٫٢٧٠ م.و.س. سنويا .

وتعتمد نتائج التحليلات الاقتصادية للمشروع على ثلاث معاملات هى : –

– قيمة النفط الذى يمكن اقتصاده بافتراض قيمة لسعره العالمى .

– معدل تصعيد سعر النفط .

– تكلفة النقود Cost of Money

ولقد أظهرت الدراسة أن انشاء محطة شمسية بسعة ٢١٫٥ م.و. بواحة الفرافرة يمكن أن يكون أفضل اقتصاديا من انشاء محطة توربينات غازية تعمل بالسولار (وذلك وفقا لأسعار عام ١٩٨٣) وبافتراض ثبات سعر السولار (أو النفط) على طول امتداد عمر المحطة وبطبيعة الحال تبدو هذه الميزة أكثر وضوحا عند ادخال عنصر أهمية توافر العملة الحرة فى المقارنة الاقتصادية .

تضمنت خطة المشروع انشاء محطة تجريبية لخدمة ٥٠٠٠ فدان بالموقع وذات امكانية توليد طاقة سنوية قدرها ٦٦١٠ م.و.س سنويا لخدمة الأراضى المستصلحة أولا بالواحة . وفى هذه المرحلة قدرت الدراسة أنه لا حاجة – فى المرحلة الأولى – للضخ من آبار عميقة فخزانات المياه الجوفية تحت ضغط يتراوح – من ٤ الى ٦ ضغط جوى . ومن ثم فتتدفق المياه دون حاجة الى ضخ . الا أن هذا الضغط سوف يقل حتما بزيادة الطلب على المياه عند زيادة السكان .

أى أن القدرة المطلوبة لخدمة ٥٠٠٠ فدان = ٥٠٠٠ × ٠٫٤٧ = ٢٣٥٠ ك.و.

واذا استبعدنا القوى الكهربية المطلوبة للضخ يصبح اجمالى القدرة المطلوبة لخدمة ٥٠٠٠٠ فدان = ٥٠٠٠ × ٠٫٢٢ = ١٫١ م.و .

يبين الجدول (٢ ـ ١) المتطلبات المبدئيـة (الأساسية) للقوى الكهربائية لواحة الفرافرة ٠

جدول (٢ ـ ١) : المتطلبات المبدئية للقوى الكهربية لواحة الفرافرة

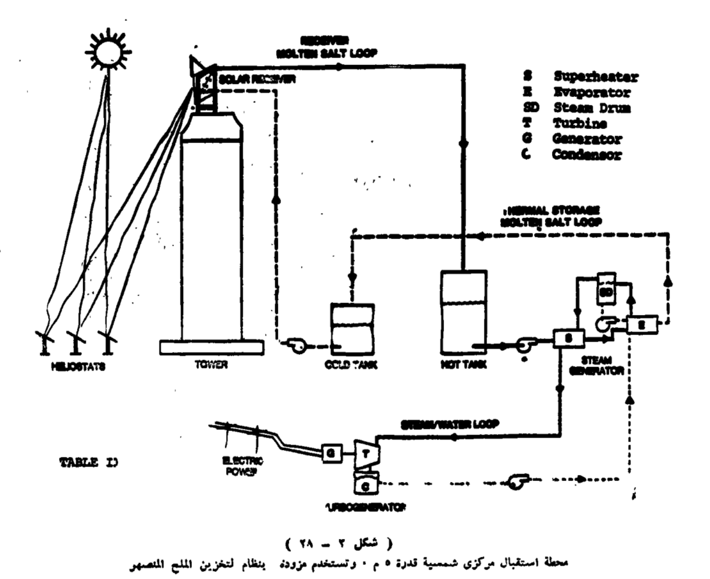
الغرض المنشود أو المستهدف	القدرة (ك٠و٠/فدان)
ـ الضـــخ	٢٥ر٠
ـ الاسنخدمات المنزلية	٠٤ر٠
ـ الـــــري	١٠ر٠
ـ الصناعات الزراعية الخفيفة	٠٨ر٠
الاجمـالى	٤٧ر٠

وطبيعي فمن المتوقع حدوث زيادة تدريجية فى عدد السكان كلما زادت مساحة الأراضى المستصلحة ٠

ولقد قدرت الدراســة قيمة تقديرية لتكلفة هــذا النظام الشمسى STCR التجريبى سعة ١ر١ م٠و ٠مزود بنظام تخزين ١٨ ساعة وبمعامل سعة ٧٥٪ فبلغت ما يترواح ما بين ٢٨ الى ٤٠ مليون دولار (مقيما بدولار عام ١٩٨٣) ٠

٣ ـ المشروع الأمريكى العملاق لانشــاء محطات شمسية فى الفضــاء الخارجى لخدمة كوكب الأرض :

كان نجاح برامج الفضاء فى الستينيات من هذا القرن ومن بعده بروز مشاكل الطاقة فى أنحاء العالم وخاصة بعد حرب أكتوبر عام ١٩٧٣ وما أعقبها من حظر للبترول العربى شاحذا لهم علماء الطاقة فى العالم للاتجاه لايجاد بدائل مناسبة كمصادر للطاقة بدلا من المصادر التقليدية المعروفة ومن ثم برزت فكرة انشاء محطة فى الفضاء الخارجى لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية Solar Power Satellite (SPS) وبثها الى محطات الاستقبال الأرضية ٠ وذلك بتجميع الأشعة الشمسية



(شكل ٢ – ٢٨)

محطة استقبال مركزى شمسية قدرة ٥ م · وتستخدم مزوده بنظام لتخزين الملح المنصهر

وتحويلهـــا الى طاقة تيار مستمر باستخدام عدد هائل من الخلايا الفوتوفولطية ثم تحويلها الى موجات متناهية الصغر Microwave ثم بثها بواسطة عدد كبير من الهوائيات الضخمة الى كوكب الأرض حيث يتم استقبالها فى محطات تقوم بتحويل هذه الموجات الى طاقة كهربائية للاستخدامات العادية ٠

وقد قامت الولايات المتحدة الأمريكية باعداد مشروع لانشاء ستين محطة فضائية قدرة كل منها خمسة جيكاوات أى بقدرة اجمالية مقدارها ٣٠٠ جيكاوات وهو ما يعادل ١٢٪ من القدرة اللازمة لاستهلاك العالم عام ٢٠٢٠ والتى تقدر بحوالى ٢٥٦٥ جيكاوات حسب تقديرات معهد أبحاث الطاقة الأمريكى ويبدأ العمل فى تركيب هذه المحطات عام ٢٠٠٠ وتقدر تكاليف انشاء محطة واحدة قدرة ٥ جيكاوات والمحطة الأرضـــية الواحدة بحوالى ١٢ بليون دولار أمريكى بينما تقدر الاستثمارات اللازمة قبل بدء تشغيل المرحلة الأولى بحوالى ٧٤٠ بليون دولار أمريكى ٠ أى أن المشروع يكلف حوالى ثلاثة أرباع تريليون دولار أمريكى ٠

ويهدف هذا المشروع الى انشاء ٦٠ محطة تدور فى توافق زمنى (نفس السرعة) مع الأرض فى مدار يبعد ٣٥٩٠٠ كيلو متر عنها ٠

مراحل المشروع :

اشتركت كل من هيئة الفضاء الأمريكية NASA وقسم (وزارة) الطاقة الأمريكى U.S. Dept. of Energy فى وضـــع تصميم لمشروع يكون مرجعا للمراحل التالية ٠ وهذا (Reference System Design) التصميم يشتمل على ثلاث مراحل رئيسية وهى :

١ ـ مرحلة تحويل طاقة التيـــار المستمر المولدة داخل البطاريات الفوتوفولطية الى موجات متناهية الصغر ٠

٢ ـ مرحلة السيطرة على هـــذه الموجات بدقة متناهية لتصـــل الى المواقع المحددة لاستقبالها على سطح الأرض ٠

٣ ـ مرحلة تحويل هذه الموجات الى طاقة تيار مستمر ٠

نبذة عن التصميم المرجع للمشروع :

تتكون كل محطة ـ والتى سمتها ٥ جيكاوات ـ من عدد هائل من البطاريات الفوتوفولطية مرتبة فى مصفوفات ومثبتة فى هيكل اما من مادة جرافيتية أو من سبائك من الألمونيـوم • ويقترح التصميم بديلين للبطاريات الفوتوفولطية وهى اما استخدام بطاريات من بلورة أحادية من مركب الجاليوم ـ الألمنيوم ـ مع تركيب عاكسات لمضـاعفة تركيز الاشعاع الشمسى • وتحتاج المحطة عند استخدام هذا النوع من البطاريات الى حوالى ٥ بلايين وحدة • أو استخدام بطاريات كل منهـا من بلورة أحادية من السيليكون ولكن بدون وسائل اضـافية لتركيز الشعاع • وتحتاج المحطة الواحدة عند استخدام هذا النوع من البطاريات الى حوالى عشر بلايين وحدة •

وتحول طاقة التيار المستمر المولدة داخل هذه البطاريات الى تيار متناوب ذى تردد عال (٢ر٤٥ جيكاهرتز) بواسطة محولات تيار مستمر/ تيار عالى الذبذبة RF تم بثها من هوائيات قطر الهوائى الواحدة واللازم للمحطة هو حوالى كيلو متر وهو يتكون أصلا من مجموعة من الهوائيات مرتبة فى (٧٢٢٠) مصفوفة وكل منها حوالى ١٠ × ١٠ متر ، وتحتاج كل محطة الى (١٠١٥٥٢) صمام كلايسترون Klaystron قدرة كل منها (٧٠) كيلووات وفى مراحل الدراسة الأولى كان التفكير فى بديلين لنقل الطاقة وهما اما استخدام طريقة البث بالموجات المتناهية الصغر أو باستخدام أشعة الليزر • وقد استقر الرأى على البديل الأول لتوافر التكنولوجيا الخاصة بصورة أوسع من البديل الثانى • كما يقوم قسم أبحاث الطاقة الأمريكى حاليا بدراسـة امكانيـة استخدام الكترونيات الجوامد لتحل محل الصمامات •

ويقابل كل هوائى بالمحطة الفضائية هوائى استقبال على المحطة الأرضية لاستقبال الموجات المنبعثة وتمتد شبكة الهوائيات الأرضية على مسافة مقدارها ١٠ × ١٣ كيلو متر •

وتقدر الكفاءة الكلية المتوقعة بحوالى ٦٣٪ •

عملية بناء المحطة الفضائية :

يقدر المشروع المرجع الأبعاد الخارجية لكل محطة بـ ٣ر٥ × ٤ر١٠ × ٥ر٠ كيلو متر ووزن المنشآت بحوالى ٥١ مليون كيلو جرام •

ونظرا لهذا الحجم والوزن الضخم بالاضـــافة الى التعقيدات التى يتضمنها التصميم فكان هنالك السؤال الذى طرح نفسه أمام المصممين وهو كيف يتم انشاء هذا البناء الضخم فى الفضاء وفعلا نوقشت ثلاثة اختبارات وهى : —

١ — أن تتم عملية البناء فى مدار قريب نسبيا — يبعد ٤٨٠ كيلو متر عن الأرض ثم نقل البناء الى المدار البعيد ويبعد ٣٥٩٠٠ كيلو متر ٠

٢ — أن تتم عملية البناء كلها فى المدار البعيد ٠

٣ — أن يستخدم المدار القريب كمحطة تجميع وتجهيز المهمات ثم نقلها الى المدار البعيد التركيب والانشاء ٠

وقد استقر الرأى على اختيار البديل الثالث لعدة أسباب منها أن الجاذبية الأرضية في المدار البعيد تقدر بحوالى ١/١٠٠ منها فى المدار القريب مما يسهل عملية الانشاء فى المدار البعيد بالاضافة الى أن قوة سحب الهواء Aerodynamic Drag تكاد تكون معدومة فى المدار البعيد وكذلك فان الآثار الحرارية على مواد الانشاء ومشاكل انقطاع الطاقة أثناء المرور خلال منطقة على الأرض أقل دائما فى حالة المدار البعيد ٠

ووسائل نقل الأشــخاص والمعدات تتكون من ٤ مركبــات يمــكن استخدام كل منها لمرات عديدة وهى :

١ — المركبة المصعد A Heavy Lift Launch Vehicle وهى مركبة مكونة من مرحلتين تحمل المهمات الى المدار القريب وطولها ١٥٤ متر وذات طاقة رفع قدرها (١٠٤٠) طنا لرفع (٤٢٤) طنا من المهمات فى كل وحدة وتســتخدم (١٦) محركا يعمل بوقود من خليط من الأكسجين والميثان السائل تعمل فى المرحلة الأولى بينما يعمل (١٤) محركا بطاقة الهيدروجين فى المرحلة الثانية ٠

وتعمل محركات المرحلتين معا عند عودة المركبة الى الأرض ٠

٢ — مركبة لحمل المهمات الى المدار الثابت البعيد وتعمل بالكهرباء المولدة بواســطة بطاريات الجاليوم الفوتوفولطية Electric Space Tug وتستغرق المرحلة للوصول الى المدار البعيد (١٣٣) يوما ورحلة الذهاب والعودة الى (١٨٠) يوما ٠ بينما تحتاج فى حـــالة اســتخدام بطاريات السيليكون الى (١٦٠) يوما فقط ٠

٣ ـ مركبة مصعد مكوكية لنقل الأشخاص Personnel Launch Vehicle وهى مركبة ذات مرحلتين لحمل الأشخاص بين الأرض والمدار القريب وتكفى لحمل ٧٥ شخصا فى الرحلة الواحدة وتستخدم (٤) محركات تعمل بخليط الأكسجين والميثان السائل ٠

٤ ـ وأخيرا مركبة مكوكية لنقل العاملين والذين يقدر عددهم بحوالى (٦٠٠) بين المدار القريب والمدار البعيد وهى عبارة عن صاروخ ذى مرحلتين ووزنه (١٥١) طنا يتسع لـ (١٦٠) شخصا ٠

كلمة أخيرة عن المشاكل التى تواجه المشروع :

ما زال هنالك العديد من المشاكل التى تواجه تنفيذ هذا المشروع الضخم منها الاقتصادية ومنها الهندسية ومنها ما يتعلق بالبيئة وما زال حل هذه المشاكل يحتاج الى المزيد من الدرسات والأبحاث مثل العدد الهائل من البطاريات والهوائيات وترتيبها فى مصفوفات وعمليات تركيب المحطات والسيطرة اللازمة وعمليات النقل ثم عمليات استخراج المعادن وتصنيعها ٠٠ الى آخر هذه المشاكل التى لابد من مواجهتها بصراحة وموضوعية ٠ ويعتبر هذا المشروع من أوائل المشاريع التى لا تحتاج الى مناقشات فنية فحسب بل الى مناقشة النواحى السياسية والاجتماعية والبيئية المتعلقة بالمشروع والذى يمكن فى حالة نجاح تنفيذه أن يكون من أفضل البدائل لمصادر الطاقة النظيفة المتاحة فى عالم الغد ٠

الباب الثانى

الفصل الثالث

طاقة الرياح

استخدمت طاقة الرياح منذ أقدم العصور فى دفع السفينة الشراعية وكانت هى الوسيلة الوحيدة لتسيير السفن ولا زالت تستخدم حتى الآن لهذا الغرض فى بعض الدول • كما استخدمت طاقة الرياح فى ادارة طواحين الهواء التى استخدمت منذ أقدم العصور وفى كثير من الدول فى رفع المياه من الآبار وفى طحن الغلال والحبوب •

ومن الناحية التاريخية يمكن اعتبار وسائل تحويل طاقة الرياح كواحدة من الآلات الأساسية للانسان • فلقد وجدت آلات ذات المحور الراسى فى ايران (بلاد فارس) منذ مئات السنوات قبل (الميلاد) وهذه الآلات البدائية ظلت كما هى حتى القرن الثانى عشر (١٢) عندما ظهرت طواحين الهواء ـ ذات المحور الأفقى فى كل من انجلترا وفرنسا وفى هولندا وأدخل الهولنديون هـذه الآلات الى أمريكا فى منتصف القرن الثامن عشر واستخدمت هذه فى ضخ المياه • وبمرور الأعوام تغير تصميم طواحين الهواء كثيرا • وتم انتاج أول جيل من طواحين الهواء الحديثة عام ١٨٩٠ ـ لتوليد الكهرباء فى الدانمارك • وبحلول عام ١٩٠٨ كان مئات من طواحين الهواء التى تتراوح سعاتها من ٥ الى ٢٥ ك٠و٠ تنتشر فى الدانمارك •

وجدير بالذكر أن آلات الرياح هذه لعبت دورا بارزا فى القارة الأمريكية حتى الثلاثينات من هذا القرن عندما صدر قانون كهربة الريف والذى وفر الطاقة الكهربيــة ـ بسعر رخيص ـ للزراع (الفلاحــين) ولا يزال بقايا من هذه الآلات نراه متناثر فى العديد من الأماكن فى القارة الأمريكية •

الا أنه نظرا لعدم ثبات سرعة الرياح وعدم استمرارها فقد تأخر استخدامها كوسيلة رئيسية من وسائل توليد الطاقة الكهربائية • ويمكن تصور عدم الثبات فى القدرة المنتجة عنها اذا علمنا أن القدرة الناتجة

عن حركة الرياح تتنـاسب مع سرعة الرياح مرفـوعة الى الأس الثالث بالاضافة الى أن كفاءة تحويل الطاقة تتوقف على سرعة الرياح ومحرك الرياح من نـوع المروحة له كفـاءة تصميمية ٦٠٪ الا أن الكفاءة الفعلية لا تزيد عن ٤٠٪ ٠

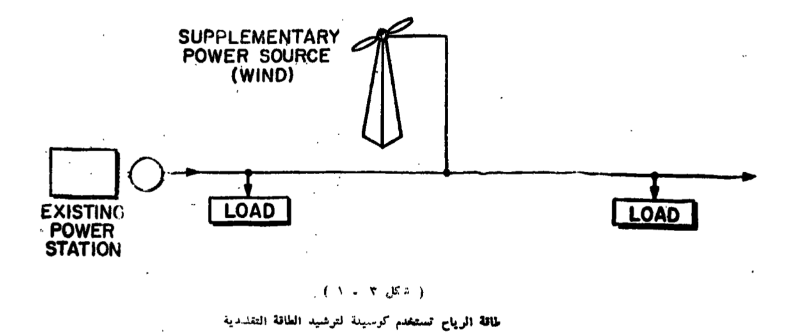
وتصنيع المحركات الهوائية أما من مراوح ذات جناحين أو ثلاثة أو أربعة أجنحة وأما من تربينات هوائية ذات عدد كبير من الريش ٠ وتفضل المحركات المروحية فى حالة استخدامها لادارة مولدات كهربائية حيث أن لها سرعة أكبر مما يقلل من حجم كل من المحرك والمولد الكهربائى وبالتالى يقلل التكاليف ٠

وكانت تستـخدم مجموعات التوليد التى تدار بالرياح منظمـات للسرعة لتحفظ التردد والجهد للقدرة المولدة ثابتا ، الا أن هذه المنظمات تؤثر على كفاءة التوليد ولذلك فقد اتجه الرأى الى استنباط نوع أحدث من المولدات صغير الحجم قليل التكاليف وذى تردد وجهد ثابت لا يتوقف على سرعة الرياح ٠ وتعتمد نظرية هذه المولدات على توليد طاقة كهربائية ذات تردد عال ثم تعديل هذا التيار ذو التردد العالى الى تيار ذو تردد ٥٠ هرتز بواسطة دوائر كهربائية مختلفة وبذلك يمكن الحصول على طاقة كهربائية ذات تردد ثابت لا يتغير مع تغير سرعة الرياح ٠

نبذة عن بعض مجالات استخدامات طاقة الرياح بمصر

بدأ الاستخدام الحديث لطاقة الرياح فى مصر على شـكل وحدات صغيرة على السواحل الشمالية وثبت من الاستخدام أنها على جانب من الفائدة ٠ وصغر الوحدات يحل الكثير من المشاكل الميكانيكية مثل اتزان فروع المراوح ومشاكل الانشاء ٠ وفى هذا الاتجاه تم التعاقد بين وزارتى الكهرباء والطاقة والصناعة بمصر لتصنيع وحدات (لا تزيد عن ١٠٠ ك٠و٠) وتتغير سرعة الرياح خلال السنة من ٣ الى ٨ كيلو متر فى الساعة بخلاف الزوابع والدفعات الهوائية كما تختلف السرعة من عام الى آخر فى حدود حوالى ١٠٪ ولذلك فان القدرة المولدة من المحركات الهوائية لا تمثل كمية ثابتة يعتمد عليها ٠ وتصلح محركات الهواء فى انتاج الطاقة للمناطق النائية الا أنه قد يكون من المفضل ربطها مع طريقة أخرى من طرق انتاج القدرة لضمان استمرار التغذية ٠

ولا شك فان اتاحة الطاقة الرخيصة من الرياح ـ أو حتى من الطاقة الشمسية فى المناطق المعزولة يمكن أن يسهم فى تطوير النشاط السكانى



(شكل ٣ - ١)

طاقة الرياح تستخدم كوسيلة لترشيد الطاقة التقليدية

الحالى وزيادته بل وادخال صناعات جديدة تعتمد على الانتاج الفعلى لهؤلاء السكان مثل حفظ الأسماك وتجفيف الفواكه وانتاج الزيوت والصناعات المترتبة على الزيوت وذلك بالاضافة الى تنمية الانتاج الزراعى باستخدام الطاقة المتاحة فى رفع المياه من الآبار وبتفكير ذى مدى أبعد استخدام هذه الطاقة فى وحدات صغير لا عذاب المياه ٠

وبالنسبة لاستخدامات طاقة الرياح نذكر التطبيقات التالية :

- ضخ المياه باستخدام مراوح هوائية ومضخات لرفع المياه من الآبار وجدير بالذكر فانه يمكن لمضخة سعتها حوالى ٥ كيلووات رى حوالى ١٠ أفدنة من الأراضى ٠

- توليد الطاقة الكهربائية فاذا كانت الطاقة المطلوبة محدودة فيمكن مثلا باستخدام مراوح كهربائيـة – من النوع المروحى – مع مولد كهربى ذى جهد ٢٢٠ فولت – ليعمل بالتوازى مع مولد ديزل لمعاونته ومن ثم ترشيد استهلاكه للوقود ٠

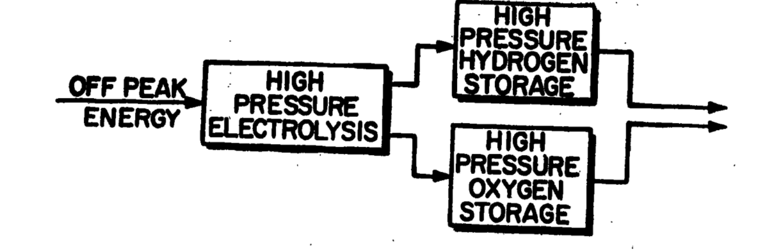
- بالنسبة لتوليد الطاقة الكهربائيـة على نطـاق أكبر – وليكن من ١٠٠ ك٠و حتى ١٠٠٠ ك٠و٠ فيمكن ذلك باسـتخدام توربينـات هوائية ذات ريشتين كبيرتين مع مولدات بجهد منخفض (٢٢٠ أو ٣٨٠ فولت مثلا) ٠

- بالنسبة للمستويات الأعلى فيمكن الاستفادة من التطورات الحديثة فى مجال التوربينات الهوائية (مثل النماذج ١ ، ٢ ، ٥ ٠٠٠ الخ) والتى سيرد ذكرها بعد ٠

تخزين طاقة الرياح لاعادة استخدامها

تستخدم المولدات المدفوعة بقدرة الرياح فى المناطق المنعزلة ونظرا لعدم استمرار قدرة الرياح واستقرارها فمن المفضل أن يستخدم مع هذه المولدات مجموعات لتخزين الطاقة المتاحة فى الرياح فى أوقات عدم الحاجة اليها أو زيادتها عن المتطلبات ثم اعادة استخدامهـا فى وقت الحاجة سواء فى خلال اليوم أو فى أثناء السنة ٠

وكانت تستخدم المراكم الحامضية أو القلوية فى تخزين الطـاقة الكهربائية الا أن هذه الطريقة غير اقتصادية حينما تزداد الطاقة المراد



(شكل ٣ – ٢)

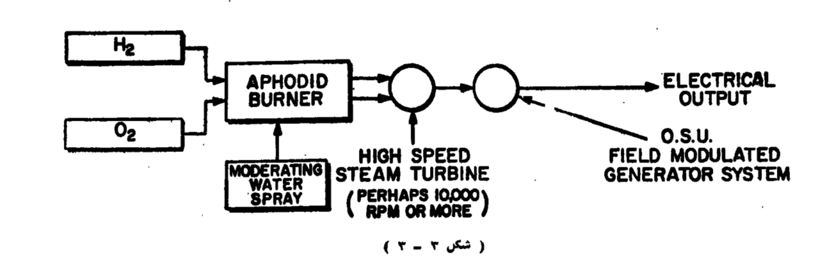
استخدام وسيلة تحليل الضغط العالى الكهربى لتخزين الطاقة (أثناء فترات الحمل الأدنى) للاستفادة منهـــا أوقات ذروة الأحمال الكهربائية ٠

تخزينها أو القدرة القصوى المطلوبة كما أنه من الممكن استخدام طريقة تخزين الطاقة بواسطة رفع المياه ثم اعادة استخدامها فى توربينات مائية الا أن هذه الطريقة مرتفعة التكاليف ولا تكون اقتصادية الا فى حالة تخزين كميات كبيرة جدا من الطاقة ٠

ولهذا الغرض كان من المقترح تخزين الطاقة الكهربائية المستنبطة من الرياح والتى تزيد عن حاجة الاستخدامات بواسطة استخدام الكهرباء فى خلايا لتحليل المياه الى أوكسجين وايدروجين ٠ ثم يخزن كل من الغازين تحت ضغط مرتفع ٠ وعند الحاجة الى الطاقة يعاد التفاعل الكيميائى بين الأكسجين والايدروجين لانتاج البخار الذى يمكن استخدامه فى تشغيل تربينات بخارية التى تقوم بدورها بالادارة الميكانيكية مباشرة للمصانع أو طلمبات الرى واما لتشغيل مولدات كهربائية مرتبطة بالشبكة الكهربائية المغذاة من المولد الذى يجرى ادارته بواسطة قدرة الرياح ٠ ويمكن تكثيف البخار الخارج من التربينات واعادة المياه الناتجة الى الخزانات التى تغذى خلايا التحليل الكهربائى وهكذا تتكرر الدورة وهنالك وسائل أخرى ممكنة وتعتمد على التخزين فى خلايا الوقود لانتاج تيار مستمر يتم تحويله الى تيار متناوب (متردد) من خلال أجهزة تعديل التيار Power Conditioning System (PCS) كما يمكن استخدام التوربينات الهيدروجينية للتخزين كذلك ٠

ولقد أجرت جامعة ولاية أوكلاهوما الأمريكية أبحاثا مستفيضة على نظم التحليل الكهربى عالية الضغط لتخزين الطاقة High Pressure Electrolysis Energy System لتحديد القيم العملية لمعاملات التصميم لنظم تخزين الطاقة لاعادة استخدامها أثناء فترات ذروة الأحمال الكهربائية (شكل ٣ ـ ٣) وتمتاز هذه الطريقة بأن الكفاءة الشاملة (من الكهربائية الى الحرارية) أعلى من ٩٠٪ حيث لا تستهلك طاقة فى الكبس (compression) حيث لا حاجة الى مضخات أو أجزاء ميكانيكية متحركة ٠

ـ وقامت جامعة ولاية أوكلاهوما الأمريكية باجراء أبحاث مستفيضة على خلايا الوقود ذات عنصرى الهيدروجين ـ والأكسجين ٠ وأمكنها تسجيل اختراع جديد فى هذا المجال عبارة عن حارق يبرد برذاذ من الماء ويغذى بعنصرى الأكسجين والهيدروجين ويطلق عليه Aphodid H_2 —O_2 Water Moderated Burner System وعند اقران هذا الحارق مع المولد الكهربى FMGS من خلال توربين بخارى عالى السرعة (شكل ٣ ـ ٤)



(شكل ٣ ـ ٣)

وسيلة لاستخلاص الكهرباء من الهيدروجين والاكسجين المخزنين (حارق الأفوديد مع منظومة التوليد ذات تيار الاثارة المحمل F.M.G.S. وهي كبديل لخلايا الوقود (لحين تأكد اقتصاديات الأخيرة) .

يمكننا بذلك توليد طاقة كهربائية مصدرها توحيد عنصرى الأكسجين المختزن كل على حدة ٠

ويمكن أن تصل كفاءة التحويل الحرارى/الكهربى الى ٤٠٪ وهذا النظام كان يعتبر ــ وقبل تطوير خلايا الوقود بدرجة كبيرة ــ أكثر اقتصادا ٠

صور من الجهود العالمية لتطوير وسائل استغلال طاقة الرياح

يجرى استغلال طاقة الرياح منذ العهد الذى وجدت فيه طواحين الهواء ٠ ولكن المنشآت الحديثة التى يتم تطويرها واستخدامها تبدو مختلفة عن مثيلاتها الكلاسيكية مع أنها تعمل بنفس المبادىء ٠ ولقد أدت التصورات المبدعة ومرونة التخطيط والمواد الجديدة والتفهم الواضح للفيزياء بناء أجهزة لاستغلال طاقة الرياح تختلف اختلافا جذريا عن سابقاتها ٠

ويضم توربين الرياح مركبات قليلة نسبيا وهى بالنسبة للأحجام الصغيرة المتوسطة كما يلى :

ــ الدوار المركزى الذى يعلوه أما محور أفقى على الأجهزة التقليدية ــ أو محور عمودى ٠ والدعائم (الأبراج) ويبلغ ارتفاعها ــ فى أغلب الأحيان ــ عشرات الأمتار لرفع الدوار فى الهواء ٠

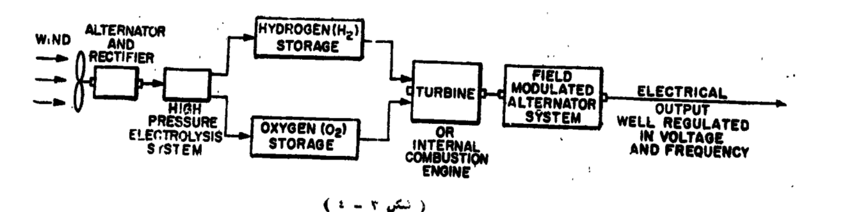
ــ مولد لانتاج الكهرباء ٠

وذلك للوحدات التى تتراوح سعاتها ما بين بضعة كيلووات الى مئات منها ٠

أما الوحدات الأكبر والتى وصلت ــ وفقا لمعلومات الكاتب وقت تحرير هذا الكتاب ــ الى ٧٥٠٠ كيلووات ــ فتشمل علاوة على ذلك أجهزة أخرى مثل أجهزة اقران السرعة ما بين التوربين والمولد الكهربى وأجهزة أخرى للسيطرة ٠٠٠ الخ ٠

وتعتمد السعة على حجم الدوار وارتفاع الدعائم (البرج) وسرعة الريح بالموقع ٠

وبعد اختيار الموقع تجمع معطيات الرياح فى المنطقة (توزيع الاتجاهات والسرعات على مدار العام) لتسمح باجراء دراسة مستفيضة لدقائق أحوال المناخ ٠



(شكل ٣ - ٤)

نظام متكامل لتخزين واستغلال طاقة الرياح ·

وحسن اختيار الموقع والمعدات يمكن أن يعطينا الحد الأقصى للطاقة المنتجة . وتعتبر سرعة الريح هي المجال الحاسم فى تقرير مدى جدوى وصلاحية الموقع المختار بل أن الاختيار الصحيح للموقع ذى سرعة الريح المناسبة قد يهبط بتكلفة الطاقة الكهربائية المولدة من الرياح الى مستوى ينافس تكلفة توليد الطاقة الكهربائية بالطرق التقليدية . وبايجاز شديد يمكن أن نقول أن اختيار الموقع المناسب يسهم فى مجال تكلفة الطاقة المولدة كما يسهم فيه تصميم الوحدة المختارة وان كان لنا رأى فى هذا المجال فيمكنا أن نقول أن تقنيات بلوغ الحد الأقصى من انتاج الطاقة لم تنل - حتى الآن - كفايتها من البحث .

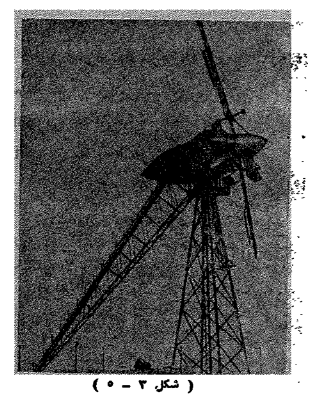
وجدير بالذكر أن بعض المؤسسات المعنية بهذه التقنية تلجأ أحيانا الى مزج وحدات فردية كبيرة وصغيرة كلما استدعت الحاجة وذلك بدلا من معايرة وحدات مزارع الرياح .

وتصنع ريش Blades الدوار التقليدية من مادة صلبة الا أنه ظهرت بالأسواق العالمية دوارات Rotors مصنوعة من البلاستيك المرن والذى يقاوم الاشعاع فوق البنفسجى Ultra Violet الضار من الشمس وعلى الرغم من قصر عمر هذه الدوارات (حوالى ٥ سنوات مقارنة بالتقليدية التى تبلغ حوالى ١٠ سنوات) الا أن خفة وزن الدوار ومرونته وكفاءته يمكن أن تعوض تكلفة استبداله بشكل دورى اذا لزم الأمر .

ومن حيث الأداء نجد أن القدرة المستخلصة - نظريا - من الرياح - عندما تكون السرعة مثلا ١٣ ميلا فى الساعة (حوالى ٢١كم/ساعة) تعادل تقريبا ١٠ وات لكل قدم مربع من المساحة (تؤخذ المساحة عمودية على اتجاه الرياح) هذه القيمة - كما ذكرنا آنفا - هى القيمة نظريا ولكن عمليا فهى لا تزيد عن ٥٩٫٣٪ (للأجنحة wing المثالية) ولكن نظرا للفاقدات المصاحبة لكل من الجناح - التروس - المولد الكهربى نجد أن الطاقة الحقيقية المستخلصة لا تتجاوز ٣ الى ٣٫٥ وات لكل قدم مربع من المساحة (فى المثال المشار اليه عالية) .

وبدأ بناء آلات الرياح الضخمة خلال هذا القرن وكانت أول وحدة تجريبية منها كانت عبارة عن توربين رياح سعته ١٠٠ ك٠و٠ عام ١٩٣٠ فى الاتحاد السوفيتى فى « بالاكلافا » بالقرب من يالتا على البحر الأسود وكان أبعاد هذا التوربين هى :

- القطر = ١٠٠ قدم (٣٠ متر)
- ارتفاع البرج = ١٠٠ قدم (٣٠ متر)



(شكل ٣ ـ ٥)

التوربين المروحى الروسى قدرة ١٠٠ ك٠و ٠



(شكل ٣ ـ ٦)

التوربين الرياحى قدرة ١٢٥٠ ك٠و (سميث بوتنام)

- أقصى قدرة مقننة =

١٠٠ ك٠و٠ عند سرعة للرياح = ٢٤٫٦ ميل/ساعة.

- متوسط السرعة = ١٥ ميل/ساعة

- نوع المولد الكهربى = تأثيرى

- جهد المولد الكهربى = ٢٠٠ فولت

وتم توصيل المولد – من خلال خط جهده الكهربى = ٦٣٠٠ فولت الى محطة سعتها ٢٠ ميجاوات تبعد عنها بحوالى ٢٠ ميل ٠ وعلى الرغم من هذه الآلة كانت بدائية جدا – حيث سطح الريش من معدن والتروس الرئيسية من الخشب الا أنه أمكن توفير ٢٧٩٫٠٠٠ ك٠و٠س٠ فى عام واحد وكان كل من المولد الكهربى وأجهزة التحكم داخل اطار housing أعلى البرج ٠ وكانت عملية التنظيم تتم من خلال التحكم فى خطوة Pitch الريش ٠ هذا وقد تم تركيب العديد من الآلات الأصغر حجما فى الاتحاد السوفيتى لامداد الطاقة للمستعمرات الزراعية ٠ وحتى عام ١٩٣٤ كان أكبر توربين رياح سعته ١٢٥٠ ك٠و٠ عندما قام المهندس « بالمربوتنام » Palmer Putnam بتصميم توربين لتوليد الطاقة الكهربية لتوليد جزء من احتياجاته المنزلية وقدم « بوتنام » أفكاره ونتائج أعماله الأولية الى شركة « س مورجان شميث » بمدينة يورك بولاية بنسلفانيا الأمريكية ووافقت الشركة على تمويل مشروعه لطاقة الرياح وبعد اختيار الموقع للمشروع التجريبى من بين ٥٠ موقع بولاية فيرمونت على قمة جبل ارتفاعه ٢٠٠٠ قدم (٦٠٠ متر) فى روتلاند ٠ وكان تصميم التوربين والذى كان أكبر توربين تم بناؤه واختباره والذى أطلق عليه نظام « شمث – بوتنام » كالتالى : –

– ارتفاع البرج ١١٠ قدم (٣٣ متر) ٠

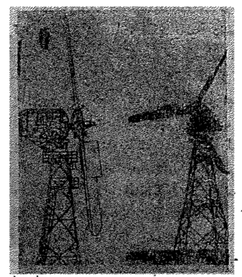
– قطر العمود الدوار ١٧٥ قدم (٥٢٫٥ متر) ٠

– وزن كل ريشة ٨ طن وتتكون من ضلع أو عرق rib من الصلب غير قابل للصدأ Stainless Steel وكان يتم ضبط خطوة Pitch الريشة للحصول على سرعة ثابتة للعمود الدوار ٢٨٫٧ لفة فى الدقيقة (ويحافظ على هذه السرعة فى مدى سرعات الرياح تبلغ حتى ٧٠ الى ٧٥ ميل/ساعة) وعند السرعات الأعلى – للرياح – كانت تتوقف الآلة ٠ ويقوم التوربين بادارة مولد متزامن (للتيار المتناوب) لتوليد ١٢٥٠ ك٠و٠ عند سرعات الرياح ٣٠ ميل/ساعة) أو أكبر وكانت هذه القدرة



(شكل ٣ ـ ٧)

التصميم المقترح لتوربين رياح قدرة ٦٥٠٠ ك.و (بيرى توماس)



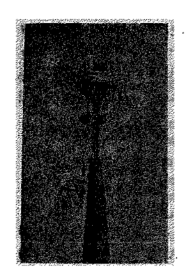
(شكل ٣ ـ ٨)

توربين رياح قدرة ١٣٠ ك.و قدمته هيئة الكهرباء الفرنسية (EDF)

تغذى الى الشبكة الكهربائية التابعة لشركة سميث ٠ ونظرا لبعض حالات ـ سوء الخط التى قابلت هذا المشروع والذى اعتبر ناجحا فنيا الا انه لم يقدم أهدافه الاقتصادية اذ وجد أن التكلفة لكمية انتاج بسيطة تبلغ ١٩٠ دولار/ك٠ وبينما كان المستهدف ١٢٥ دولار/ك٠و (عام ١٩٤٥) ٠ ولذا أوقف المشروع الا أن مهندسا فى لجنة القوى الفيدرالية (اسمه برسى طومسون استفاد من تحليل نتائج التجربة وانتهى من تحليلاته أنه لكى يكون المشروع ذى جدوى اقتصادية ينبغى ألا تقل قدرة التوربين عن ٥٠٠٠ ←١٠٠٠٠ ك٠و٠ لذلك قام بتصميم آلتين سعة الأولى ٦٥٠٠ والثانية ٧٥٠٠ ك٠و٠ وحاولت « لجنة القوى الفيدرالية اقناع الكونجرس الأمريكى بتمويل مشروع ٦٥٠٠ التجريبى عام ١٩٥١ الا أن قيام الحرب الكورية ـ الأمريكية حال دون تمويله ومن ثم الغاؤه ٠ أما البيانات الأساسية لهذا المشروع كانت كالتالى : ـ

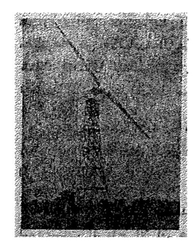
- ارتفاع البرج ٤٧٥ قدم (١٤٢٫٥ متر) ٠
- قطر الأعضاء الدوارة Rotors ٢٠٠ قدم (٦٠ متر) ٠
- المولد الكهربى تيار مستمر ٠
- القدرة المقننة ٦٥٠٠ ك٠و٠ عند سرعة للرياح أعلى من ٢٨ ميل/ساعة ٠

وتحول القدرة من التيار المستمر الى التيار المتناوب ـ من خلال محول متزامن Synchronous Converter ثم تغذى الى الشبكة الكهربائية ٠ وتجمع كل المهمات الكهربائية داخل اطار Housing أعلى البرج ٠ وقدر المهندس (بيرسى طومسون) التكلفة الاستثمارية لهذا النظام بمبلغ ٧٥ دولار/ك٠و٠ وقتذاك (فى الخمسينات) ٠ وكذلك قام البريطانيون ببرنامج للرياح مكثف ابتداء من ١٩٤٥ حتى ١٩٦٠ وقاموا ـ فى الخمسينات ـ بتصميم وتركيب آلة قدرة ١٠٠ ك٠و٠ لتوليد قدرة كهربية ـ تيار متناوب ـ عند سرعة للرياح ٣٠ ميل/ساعة وقطرها ٧٩ قدم وارتفاع البرج ١٠٠ قدم ٠ وأهم ما يميز هذه الآلة أنها ـ بخلاف توربينات الرياح التقليدية ـ كانت تستخدم الهواء ـ وليس التروس Gears لنقل قدرة Propeller الى مولد الكهرباء ـ أما ريش المروحة Propeller لنقل قدرة مروحة hollow وكانت عندما تدور فانها تعمل تماما كمضخة هواء من النوع الطارد المركزى حيث كان الهواء يدخل من فتحات عند أدنى نقطة فى البرج ويمر خلال التوربين الهوائى الذى يقوم بادارة مولد الكهرباء ولكن لسوء الحظ كان الفقد ـ



(شكل ٣ ـ ٩)

توربين الرياح الدانماركي (جدسر) قـــدرة ٢٠٠ ك.و.



(شكل ٣ ـ ١٠)

توربين الرياح لطراز صغر فى بلام بروك

نتيجة مرور الهواء فى المجرى الداخل ـ كبيرا بدرجة قللت من الميزة التى تحققت نتيجة التخلص من (حذف) الأقران الميكانيكية Mechanical Coupling ـ كذلك قام الدانماركيون بجهود بحثية فى هذا المجال وأقاموا توربين الرياح "The Danish Gedser" عام ١٩٥٧ بقدرة مقننة ٢٠٠ ك٠و٠ عند سرعة للرياح تبلغ ٦ر٣٣ ميل/ساعة ٠ وتم توصيل هذه الآلة بالشبكة الكهربية وقامت بانتاج حوالى ٠٠٠ر٤٠٠ ك٠و٠س / سنة ٠ وبالنسبة لأبعادها فهى :

- القطر ٧٩ قدم
- ارتفاع البرج ٨٥ قدم

أما المولد الكهربى فكان موضعه ـ داخل اطار Housing ـ أعلى البرج وتكلفة التركيبات لهذا النظام كانت ٢٠٥ دولار/ك٠و٠ وظل هذا التوربين يعمل حتى عام ١٩٦٨ حيث أوقف نظرا لعدم اقتصادياته آنذاك ٠

ـ كذلك قام الفرنسيون ببعض المجهودات فى هذا المجال فى الخمسينات حيث قاموا ببناء آلتين كبيرتين ٠ الأولى بقدرة ١٣٠ ك٠و٠ وقطرها ٧٠ قدم أما الثانية بقدرة ٣٠٠ ك٠و٠ وقطرها الريشة ١٠٠ قدم٠

أما الألمان فقد قاموا بعمل رفيع جدا خلال الخمسينيات والستينيات والستينيات (باشراف بروفيسور هاتر Hutter)

وهى آلة بقدرة ١٠٠ ك٠و٠ عند سرعة للرياح ١٨ ميل/ساعة وكان من أهم ما يميز الآلة الألمانية أنها تتطلب ـ نسبيا ـ سرعة للرياح أقل مع وزن أقل حيث أنها كانت تستخدم ريش ـ قطرها ١١٥ قدم ـ مصنوعة من الألياف الزجاجية وبرج بسيط ومجوف ومدعم بأسلاك شدادة Guy Wires ويمكن تغيير خطوة Pitch الريشة ـ عند السرعات العالية للرياح ـ لضبط سرعة دوران المروحة عند قيمة ثابتة ٠

وظلت هذه الآلة ـ آلة هاتر ـ منذ سبتمبر ١٩٥٧ حتى أغسطس ١٩٦٨ والحقيقة فان الجهود الألمانية ـ تمثل أهم تقدم فى مجال توربينات الرياح الكبيرة ٠

وعلى الرغم من أن عددا كبيرا من دول العالم قام ببناء واختبار نظم لتوربينات الرياح الا أن هذا النظم تم ايقافها وفكها (حلها) بعد فترة وكانت المشكلة هى أن تكلفة الانشاء لكل ك٠و٠ كانت عالية جدا مقارنة بطرق الكهرباء الأخرى ٠ علاوة على ذلك ـ ونظرا لتغير الرياح ـ فلم

DOWN FREQUENCY CONVERSION BASIC PRINCIPLE

① AN ORDINARY ALTERNATOR PUTS OUT A SINE WAVE LIKE THIS

② IF THE FIELD IS MODULATED BY A MUCH LOWER FREQUENCY, THE OUTPUT LOOKS LIKE THIS

③ IF THE PRECEDING DSBSC WAVEFORM IS PASSED THROUGH A BRIDGE RECTIFIER, THE RESULT IS

④ NEXT PASSING THIS THROUGH A SILICON CONTROLLED RECTIFIER SWITCH (WHICH IS ADJUSTED TO SWITCH ONLY AT THE PROPER ZERO POINTS)YIELDS

⑤ WHICH CAN BE FILTERED TO THIS

(شكل ٢ – ١١)

نظرية أو مبدأ تحويل التردد المستخدم فى نظام تعديل تيار الاثارة للمولد الكهربى F.M.G.S. – بديل الوجه او الطور الواحد .

يكن يكفى تركيب توربين الرياح وحده بل يؤخذ فى الاعتبار نوع ما من تخزين الطاقة والآن وبعد أزمة الطاقة وشعور العالم بندرة النفط تم اعادة النظر ثانية فى طاقة الرياح والمزايا الأساسية لطاقة الرياح كمصدر للطاقة هى : ـ

ـ أنه مصدر غير ناضب للطاقة (عكس أنـواع الوقود الحفرية وخاصة النفط) ·

ـ انه مصدر نظيف للطاقة ·

ـ تكاد تنعدم تماما المصاريف الجارية ·

يقابل ذلك عيوب أهمها :

ـ أن الرياح هى مصدر متغير (فى السعة والاتجاه) ·

ـ التكلفة الاستثمارية النوعية عالية ·

ولاقامة برنامج لاسـتغلال طـاقة الرياح ـ وهى جزء من الطاقـة الشمسية ـ ينبغى القيام بالتالى : ـ

١ ـ دراسـات وتركيبات واختبارات لنظم تحويل طـاقة الرياح باضافة/وبدون نظم تخزين ·

٢ ـ دراسات وتركيبات واختبارات نظم التخزين ·

٣ ـ دراسات ميتورولوجية (أحوال الطقس) لتقدير طاقة الرياح بالدولة ولتحديد أفضـل المناطق ثم مواقع تركيب نظم تحويل طـاقة الرياح ·

٤ ـ دراسـات وتحديد التطبيقات الملائمـة والبيـانات العمليـة Demonstrations لطاقة الرياح ·

تطوير المولد الكهربى

ـ فى أواخر الستينيات أمكن لجامعة ولاية أوكلاهوما الأمريكية تطوير نظام لمولد كهربى بتعديل تيار المجال Field Modulated Generator System —FMGS حيث ـ يكون التردد ـ للجهد أو التيار الخارج ـ مستقلا تماما عن سرعة المحرك ويمكن ربط هذا النظام بالشبكة الكهربائية (من خلال أحد المغذيات أو الخطوط) لتعزيز قدرته (الشكل ٣ ـ ٤) ·

THREE PHASE VERSION

① TAKING A 3Ø GENERATOR, AND SPLITTING OUT ALL THE PHASES, WE GET 3 SOURCES OF HIGH FREQUENCY ENERGY, EACH 120° DISPLACED FROM THE OTHER

② IF THE FIELD IS AGAIN MODULATED AT A MUCH LOWER FREQUENCY, THREE WAVEFORMS OF THE SHAPE BELOW ARE OBTAINED

(شكل ٢ ـ ١٢ ا)

المرحلتين (١ ، ٢) من عملية تحويل التردد المستخدم فى نظـــام تعديل تيار الاثارة للمولد الكهربى • FM·G S ـ بديل الثـــلاثة أطـــوار •

نظام تعديل تيار الاثارة للمولد الكهربى FMGS

وهو نظام قادر على تحويل القدرة الخارجية من مولد تيار متناوب صغير عالى السرعة الى قدرة مقابلة بتردد آخر يتم وفقا للتصميم بما فى ذلك التيار المستمر (تردد صفر) ٠

ويمكن تحقيق ذلك من خلال :

ـ تعديل Modulating تيار الاثارة

ـ تحويل الخارج المحمل Modulated Output للمولد الى الخرج بالتردد المطلوب باستخدام محول Converter بسيط مكون من الجوامد Solid State ويتلخص عمل هذا النظام فى التالى :

١ ـ ينتج مولد التيار المتناوب العادى جهدا ـ أو تيارا ـ يتغير كدالة جيبية كما هو موضح بالشكل (٣ ـ ١١ ـ ١) ٠

٢ ـ اذا حمل Modulated تيار الاثارة (المجال) بتيار ذى تردد منخفض جدا بالنسبة لتيار خرج المولد (١) فان المحصلة تكون تيارا يشابه الموضح بالشكل (٣ ـ ١١ ـ ٢) ٠

٣ ـ اذا مرر التيار (٢) خـــلال موحـــد قنطرى (أو جسرى) Bridge Rectifier فينتج تيار يشابه الموضح بالشكل (٣ ـ ١١ ـ ٣) ٠

٤ ـ اذا مرر بعد ذلك التيار (٣) خلال موحد سيليكونى محكوم Silicon Controlled Rectifier (SCR) والذى يتـم ضبطـه بحيث يمرر فقط نقط الملائمة) فينتج تيارا يشابه الموضح بالشكل (٣ ـ ١١ ـ ٤)٠

٥ ـ يمكن ترشيح تنقية التيار (٤) ليصبح مشابهـــا للشكل (٣ ـ ١١ ـ ٥) ٠

ويبين الشكل (٣ ـ ١٣ ـ أ) الدائرة الكهربائية لنظام تعديل الاثارة للمولد الكهربى ٠

البديل ـ ثلاثى الأطوار ـ لنظـام تعديل تيـار الاثارة للمولد الكهربى FMGS

يمكن تحاشى أغلب المشـــاكل المترتبة عن عمليـــات الترشـيح Filtering وعمليات فصـــل / توصـــيل Switching وذلك باستخدام مولد ثلاثى الأطوار عالى التردد وذلك كالتالى :

THE MODULATION ENVELOPES OF EACH OF THESE THREE WAVEFORMS ARE ALL EXACTLY IN PHASE, BUT THE HIGH FREQUENCY PORTIONS ARE STILL DISPLACED FROM EACH OTHER BY 120°.

③ IF EACH WAVEFORM IS PASSED THROUGH ITS OWN BRIDGE RECTIFIER, THE RESULT IS THREE WAVEFORMS OF THE FORM

IN WHICH THE ENVELOPES ARE AGAIN IN PHASE, BUT FOR WHICH THE RECTIFIED HALF SINE WAVES ARE DISPLACED IN PHASE.

WHEN THESE THREE WAVEFORMS ARE PLACED IN SERIES, THE RESULT IS

(شكل ٣ ـ ١٢ ب)

المرحلة الثالثـــة .

١ ـ نأخذ مولدا ثلاثى الأطوار وبشطر جميع الأوجه (الأطوار Phases) وبذلك نحصـــل على ٣ مصـــادر للطـــاقة عاليـــة التردد كل منها مزاح عن الآخر بمقدار ١٢٠ درجة كهربائيـــة كما هو مبين بالشكل (٣ ـ ١٢ أ ـ ١) ٠

٢ ـ اذا تم تحميل تيار الاثارة بتيار ذى تردد منخفض جدا فاننا نحصل على تيار بالعضـــو الثابت Stator كما هو مبين بالشكل (٣ ـ ١٢ ـ أ ـ ٢) ٠ ونلاحظ أن أغلفـــة (أو المنحنيـــات المغلقـــة Envelope) للتيـــار المحمل لكل من الثلاث موجات فى نفس الطـــور In Phase تماما ولكن الأجزاء ـ عالية التردد ـ مزاحة عن بعضـــها البعض بمقدر ١٢٠ درجة ٠

٣ ـ اذا تم تمرير كل تيار (تيار كل وجه على حدة) خلال الموحد (المقوم) الجسرى الخاص به فاننا نحصل على ثلاثة موجات لها الشكل (٣ ـ ١٢ ب) حيث نرى ـ مرة ثانية ـ أن الأغلفة لهـــا نفس الطور In Phase ولكن ـ الموجه الجيبية المعدلة لكل وجه مزاحة بمقدار ١٢٠ درجة كهربائية عن الأخريات ٠ واذا قمنا بتوصيل الثلاث موجات على التوالى فينتج عندنا الموجة الموضحة بالشكل (٣ ـ ١٢ ب) ٠

٤ ـ وبعد امرار التيار (٣) خـــلال نظام فصل / توصيل الموحد السيليكونى (SCR) ينتج تيار مشابه للشكل (٣ ـ ١٢ جـ ـ ٤) ٠

٥ ـ يمكن بسهولة ترشيح التيار (٤) ليصبح تيار جيبى كما هو مبين بالشكل (٣ ـ ١٢ جـ ـ ٥) وأبسط أشكال دوائر الترشيح بوضع مكثف ذى سعة ملائمة عبر across الموحدات الجسرية المتوالية ٠

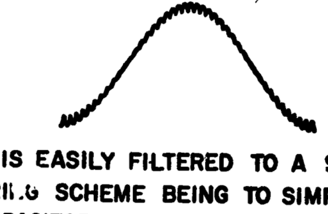
وتوضح الأشكال (٣ ـ ١٣ أ) ، (٣ ـ ١٣ ب) ، (٣ ـ ١٣ جـ) ثلاثة بدائل للدائرة الكهربائية للوصول الى التيـــار (٥) ٠ وان كان البديل الأول هو الأكثر عولا والأفضل من الوجهة العملية ٠

توربينات الرياح الضخمة ذات المحور الأفقى

عام ١٩٧٣ قامت مؤسسة العلوم القومية National Science Foundation ومركز أبحاث لويس التابع لهيئة الفضاء الأمريكيـــة NASA بوضع برنامجا مشتركا لتطوير طـــاقة الرياح وكانت أهدافه :

ـ تحديد أشكال لتوربينات الرياح بتكلفة منخفضة ٠

④ WHEN THE SCR SWITCHING SYSTEM IS PLACED IN THE SYSTEM THE RESULT IS

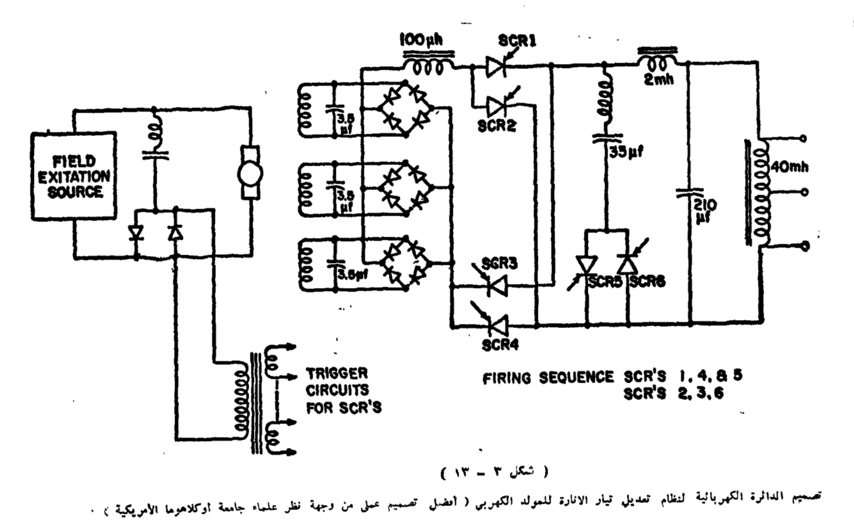


⑤ THE PRECEDINC IS EASILY FILTERED TO A SINE WAVE, THE SIMPLEST FILTERING SCHEME BEING TO SIMPLY PLACE AN APPROPRIATE CAPACITOR ACROSS THE SERIES BRIDGE RECTIFIERS



(شكل ٣ ـ ١٢ ج)

المرحلتين الأخيرتين ٤ ، ٥



(شكل ٣ ـ ١٣)

تصميم الدائرة الكهربائية لنظام تعديل تيار الانارة للمولد الكهربي (أفضل تصميم عملي من وجهة نظر علماء جامعة اوكلاهوما الأمريكية) .

TO FIELD
MODULATION
SOURCE

LOAD

(شكل ٣ ـ ١٥)

أحد البدائل (ثلاثية الأطوار) لتصميم دائرة تعديل تيار الاثارة للمولد الكهربى .

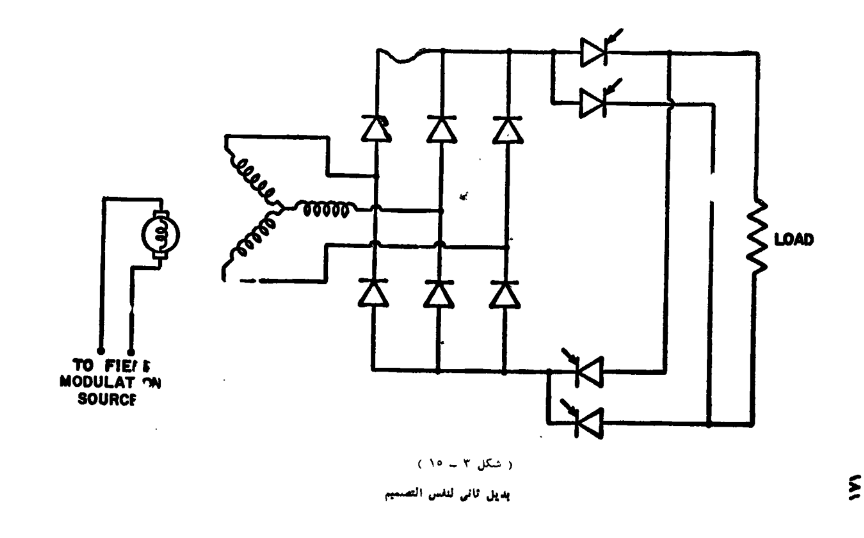
ـ تطوير التقنية لمساندة التصميم الكامل لنظام توربين الرياح .
ـ نقل الأبحاث والتقنية من الحكومة الآمريكية الى القطاع التجارى
ـ التأكد من تقبل شركات الكهرباء واستغلالها لطاقة الرياح .
وتمخض البرنامج عن المشروعات التالية :

أولا : النموذج صفر Mod-O : بدأت الجهود ـ منذ عام ١٩٧٣ ـ لتحقيق الأهداف المشار اليها عالية وتقرر أولا تصميم ـ تصنيع ـ تجميع ـ واقامة معمل لأبحاث توربينات الرياح بمركز أبحاث لويس للقيام بالتجارب والأبحاث اللازمة . وكان المستهدف اقامة توربين رياح يكون كبيرا بدرجة تكفى لامكانية تمثيل التقنية والمشاكل الهندسية المصاحبة للتوربينات ـ ذات المحور الأفقى الضخمة ـ وفى نفس الوقت صغيرا للدرجة التى تسمح بها الميزانية المتواضعة .. !! .

وتم الانتهاء من تصميم وتجميع واقامة معمل البحوث فى مركز لويس فى سبتمبر ١٩٧٥ فعلا . وضع التوربين ـ الذى استقر عليه الرأى ـ وأطلق عليه النموذج صفر Mod-O بالقرب من مدينة « ساندوسكى » بولاية أوهايو الأمريكية وصمم ـ أصلا بالخواص التالية :

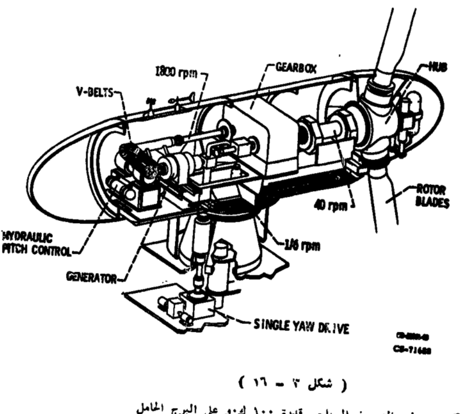
- القدرة ١٠٠ ك.و. عند سرعة الرياح ٨ متر / ثانية (١٨ ميل/ساعة)
- قطر الدوار ١٢٥ قدم (٣٨٫١ متر) .
- ارتفاع البرج ٩٣ قدم (٢٨٫٣ متر) .
- سرعة الروتور (الدوار) ٤٠ لفة / دقيقة
- نوع المولد الكهربى ٣ أوجه متزامن
- تردد المولد ٦٠ هرتز (من خلال صندوق تروس ذى نسبة تحويل ١ : ٤٥) أى بسرعة ١٨٠٠ لفة / دقيقة .
- قدرة المولد ١٢٥ ك.ف.ا.
جهد المولد ٤٨٠ فولت

وأمكن لتجهيزات الأبحاث هذه ـ والمكونة من توربين الرياح النموذج صفر ـ مع نظم التحكم والبيانات المصاحبة ـ أن توفر فرصة مبكرة لمعرفة كيفية أداء توربينات الرياح الضخمة وكذا تقييم التصورات (التصميمات) المتقدمة لها وعلاوة على المجهودات التى كانت تبذل لتطوير النظم البحثية للطراز صفر فقد تقرر وقتذاك ـ البدء فى الدراسات ـ الهندسية والاقتصادية لتحديد أفضل الأشكال بالنسبة



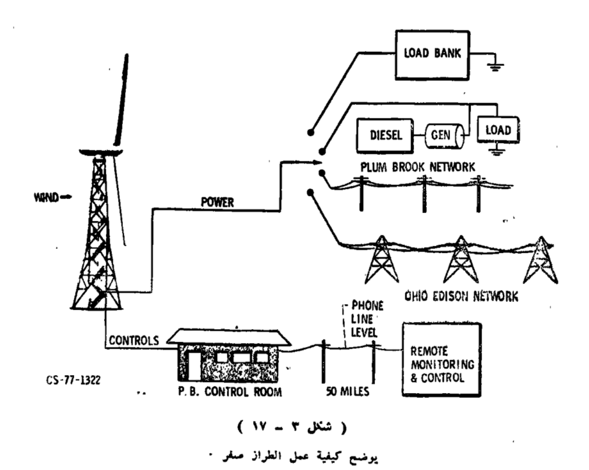
(شكل ٣ ـ ١٥)

بديل ثانى لنفس التصميم



(شكل ٣ ـ ١٦)

تركيب مهمات التوربين الرياحي قدرة ١٠٠ ك٠و على البرج الحامل

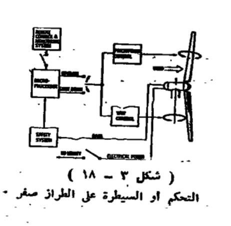


(شكل ٣ ـ ١٧)

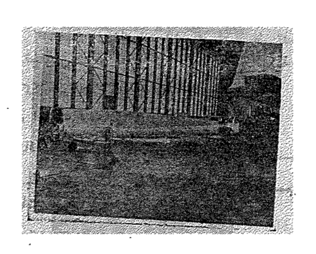
يوضح كيفية عمل الطراز صفر .

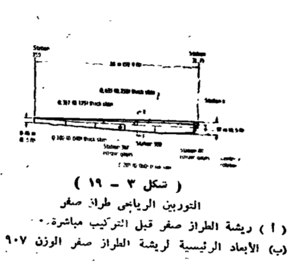
لتوربينات الرياح ذات المحور الأفقى وأكثرها اقتصادا وفى هذا الاتجاه طرحت هيئة الاقتصاد الأمريكية « ناسا » مناقصة أرسيت على كل من مؤسســـة « كامان » وشركة جنرال الكتريك فى عام ١٩٧٤ لتقوم كل منها ــ باجراء دراسة مستقلة لتصميم توربينات الرياح ٠

وقامت مؤسسة لوكهيد لصناعة الطائرات بصنع التوربين لحساب هيئة « ناسا » وكانت ريش التوربين تشبه لحد كبيرا أجنحة الطائرة وطول كل منها ١٨ متر ويزن ٩٠٧ كجم ٠ وللتحكم فى سرعة التوربين ــ وبالتالى القدرة الخارجة ــ كان يتم من خلال التحكم فى خطوة Pitch الريش ٠ ومحور الدوار rotor hub للطراز صفر والذى يحتوى على كل من : ميكانيزم تغيير خطوة الرش ــ المولد ــ صــــــندوق التروس والمهمات الميكانيكية والكهربية المصاحبة ــ وتركب جميعها على هيكل فرشى bedplate Structure وتحوط enclosed بدرع من الأليـــاف الزجاجية يطلق عليه القمرة nacelle ويمكن للقمرة بكل ما تحويه داخلها أن تزاح (تنحرف) فى مستوى أفقى حول البرج حتى تجعل الدوار (الروتور) على خط واحد مع اتجاه الريح ٠ ويتم التحكم فى القدرة الخارجة من خلال مشغلات actuators هيدروليكية والتى تقوم بتغيير خطوة الريش بينما يتولى نظام التحكم فى الازاحة raw الحفاظ على الدوار مواجها للرياح بحيث يواجه الاتجاه السائد للرياح ٠ ولقد صمم الطراز صفر بحيث يبدأ فى توليد الكهرباء بدأ من سرعة للرياح تبلغ ٤ر٢ متر / ثانية وحتى ٩ر١٧ متر / ثانية حيث تبلغ القدرة ــ عنـــد السرعة الأخيرة ــ ١٠٠ ك٠و٠ وعنـــد سرعات للرياح أعلى من السرعة المقننة تستمر قيمة القدرة الخارجة عند المعدل ١٠٠ ك٠و٠ وذلك من خلال ضبط خطوة ريش الدوار (الروتور) لتفييظ Spill الطاقة الزائدة ٠ علما بأن أقصى سرعة يمـكن أن يعمـل عندها الطراز حيث يحددها (تتوقف) على المحددات الهيكلية Structural limits للدوار ومن ثم عند السرعات التى تفوق الحد الأقصى للسرعة بفصـل المولد عن الشبكة الكهربائية ويتوقف التوربين ٠ نفس الشىء يحدث عندما تنخفض سرعة الرياح الى أدنى من القيمة ٦ر٣ متر / ثانية وسبب اتخاذ هذا الاجراء الأخير لمنع سحب قدرة كهربية من الشبكة للحفاظ على سرعة التوربين وعندما يفصل توربين الرياح نتيجة لسرعات للرياح غير مقبولة فانه يبدأ التشغيل ــ آليا (أوتوماتيكيا) عندما تصل سرعة الريـاح الى الحـدود (المستويات) المقبـولة وهى فى الطـراز ــ صفر ٨ر٥ متر / ثانية وليست ٦ر٣ متر / ثانية) والهدف من ذلك تخفيض



(شكل ٣ – ١٨)
التحكم أو السيطرة على الطراز صفر .





(شكل ٣ – ١٩)
التوربين الرياحي طراز صفر
(أ) ريشة الطراز صفر قبل التركيب مباشرة .
(ب) الأبعاد الرئيسية لريشة الطراز صفر الوزن ٩٠٧ كجم .

عدد مرات (دورات) بدء التشغيـل / والايقـاف للحالات الخفيفـه للرياح • وبنفس الفلسفة عندما يفصل التوربين نتيجة السرعة العاليـة (أعلى من ١٧٫٩ متر / ثانية) فانه يعاد تشغيله – آليا – عند سرعة ١١٫١ متر / ثانية •

وبالنسبة لاختبارات التشغيل فقد تمت على مراحل أولهـا تغـذية الطاقة الكهربية الخارجة الى حمل عبارة عن مقاومة فعالة وبعد نجاح هذه المرحلة تم توصيل المولد الى الشبكة الكهربيـة وبالنسبة للاختبارات الميكانيكية كان أهمها اختبارات التحميل الميكانيكى على الأجزاء المختلفة (الريش – البرج – الدوار) والاهتزازات الميكانيكية • وبعد نجاح الاختبارات اللازمة تم اجراء تعديلات بسيطة مثل أبعاد – أو التخلص من – السلالم Stairs والمهمات الأخرى لتحسين تدفق الهواء خلال البرج ومن ثم تخفيض – أو تقليل – الأحمال الميكانيكية على الريش •

٢ – تركيب سواقة drive للازاحة المزدوجة dual- Yaw والفرملة لنفس الهدف السابق •

٣ – اضافة أقران مائعى Fluid Coupling للاخمـاد Damping

أما بالنسبة لنظام التحكم أو السيطرة فقد صمم النموذج صفر ليكون آليا بالكامل ومن ثم كانت الحاجة الى :

١ – نظام لرقابة حالة الرياح •

٢ – نظام للحفاظ على المحاذاة مع الرياح (Alignment with wind)

٣ – للتحكم فى القدرة (أو مستوى القدرة) •

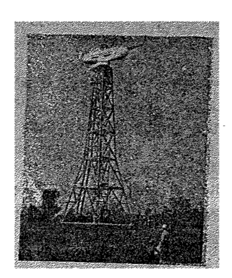
٤ – نظام للقيام بكل من بدء التشغيل – التوافق – والايقاف الآمن لتوربين الرياح •

٥ – نظام لمراقبـة المعاملات الأساسية Key Parameters للتأكد من أن العناصر الحرجة تعمـل خـلال الحدود – أو التجـاوزات – المسموح بها •

٦ – نظام يمكن لمراقب التشغيل بدء التشغيل او الايقـاف – من على بعد – للتوربين •

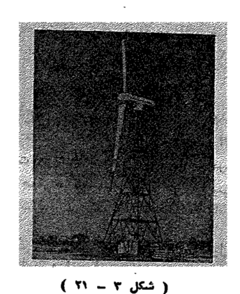
ولتحقيق ذلك تم تصميم خمسة نظم تحكم مستقلة هى :

١ – نظام للتحكم فى خطوة ريش الدوار وفى النموذج صفر يستخدم ميكانيزم يعمـل هيدروليكيا للحفاظ على أى من سرعة الدوار



(شكل ٣ ـ ٢٠)

التوربين الرياحى طراز صفر



(شكل ٣ ـ ٢١)

التوربين الرياحى من طراز (صفر ـ أ) والذى تم تركيبه (بولاية نيومكسيكو الأمريكية) .

أو القدرة فزيادة زاوية خطوة الريش من شأنه زيادة قدرة الدوار. وهذا النظام مزود بمحددات أو نهايات صغرى وعظمى لزاوية الخطوة لتجنب السرعات المنخفضة جدا والعالية جدا ٠

٢ ــ نظام للتحكم فى الانحراف Yaw للمحافظة على استمرار التوربين متوافقا مع الرياح وهو يعمل مستقلا عن نظم التحكم الأخرى ويقوم بتشغيله محركان واللذان يقومان بلف ــ أو دوران القمرة nacelle بسرعة ثابتة (١ درجة / ثانية)

٣ ــ نظام للتحكم بالميكروبروسسور والذى يقوم بالتحكم فى التشغيل الآلى للتوربين بما فيه بدء التشغيل والتوافق والايقاف ٠

٤ ــ نظام الأمان لمراقبة تشغيل النظام ويقوم بايقاف التوربين عند اكتشاف سبب يدعو الى ذلك مثل خلل فى درجات حرارة الكراسى ــ التروس ــ المولد ــ الموائع Fluids ــ المحرك الذى يدير المضخة الهيدروليكية لتغيير خطوة ريش دوار التوربين اهتزازات فى الدوار ــ ٠٠٠ الخ ٠

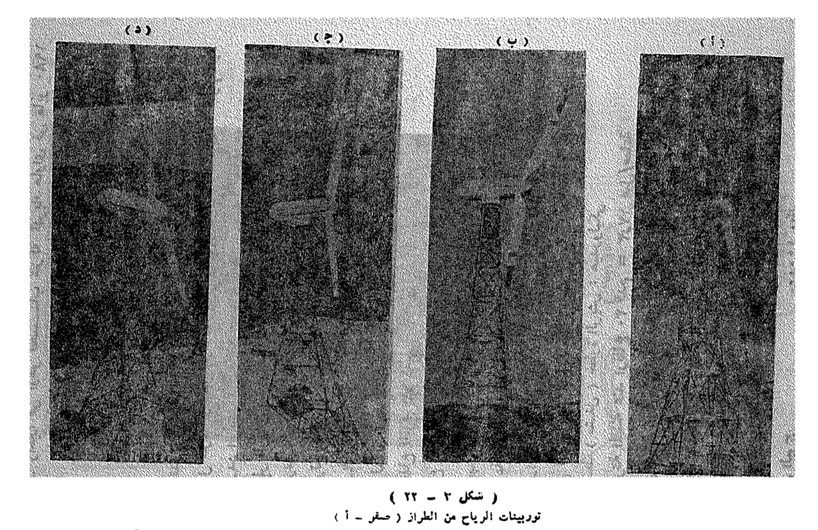
٥ ــ نظام للمراقبة والتحكم من بعد بهدف مراقبة الأداء ولتشغيل (تمشيط) الميكروبروسسور وعندما تكون التوربين يعمل آليا (بدون تواجد أشخاص أو مراقبين للتشغيل بالموقع) فان هذا النظام يعتبر أعلى درجات سلم التحكم ــ أى ذى الأولوية فى التحكم ٠

ثانيا : النموذج صفر ــ أ Mod O-A : بهدف تقديم توربينات الرياح الى مؤسسات الكهرباء قامت وزارة الطاقة الأمريكية DOE بتمويل ــ كما قامت هيئة الفضاء « ناسا لويس » ــ بادارة مشروع أطلق عليه النموذج صفر ــ أ٠و هو عبارة عن تركيب ٤ وحدات ــ تماثل كثيرا لنموذج صفر ــ فى ٤ مواقع هما تم اختيارها من بين ١٧ موقع ٠

١ ــ مدينة كلايتون بنيومكسيكو حيث بدأ تشغيل النموذج صفر ــ أ بقدرة ٢٠٠ ك٠و٠ فى مارس ١٩٧٨ ٠

٢ ــ فى جزيرة كوليبرا Culebra لحساب هيئة كهرباء بورت ريكو فى يناير ١٩٧٩ ٠

٣ ــ فى جزيرة بلوك آيلاند لحساب شركة كهرباء بلوك آيلاند (فى رود آيلاند) فى مايو ١٩٧٩ ٠



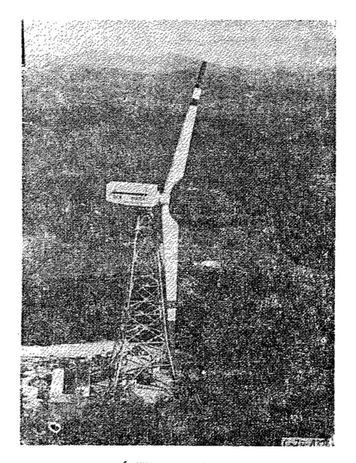
(شكل ٢ ـ ٢٢)

توربينات الرياح من الطراز (صفر ـ أ)

(أ) بمدينة كلايتون ـ بولاية نيومكسيكو
(ب) بمدينة كوليبرا ـ جزر البورت ريكو
(ج) بلوك ايلاند ـ رود آيلاند
(د) كاهوكو ـ بونيت ـ اوهو ـ هاواي •

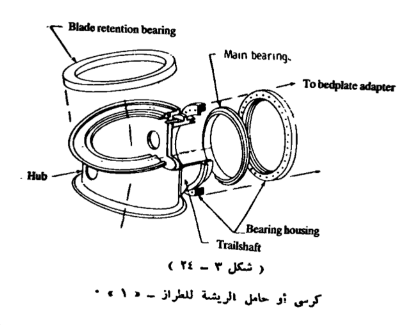
٤ ـ وأخيرا فى أوهو لحســــاب شركة كهرباء هاواى فى مايو ١٩٨٠ والحقيقة فان النموذج « صفر ـ أ » قد نجح فى تجميع بيانات تجريبية وتشغيلية لتوربينات الرياح التى تعمـــل فى ظروف بيئية واقعية typical وبالنسبة للبيانات التصميمية الأساسية للنموذج صفر ـ أ فهى كالتالى :

- القدرة ٢٠٠ ك ٠و٠ عند سرعة مقننة للرياح ١٠ متر / ثانية ٠
- أقل سرعة أو أكبر سرعة للرياح هى على التوالى ٢ر٤ ، ٩ر١٧ متر/ثانية
- عـدد الريش ٢
- قطر الريش ١٢٥ قدم
- سرعة الدوار ٤٠ لفة / دقيقة
- الموقع النسبى للبرج (فى اتجاه انسياب down-wind الرياح)
- طريقة التحكم فى القدرة : تغيير خطوة الريش
- طول الريش والمادة المصنع منها : ٩ر٥٩ قدم (١٨م) من الالومنيوم ٠
- ارتفاع البرج ٩٣ قدم
- نوع المولد وقدرته الظاهرية : متزامن ٢٥٠ ك٠ف٠أ
- الجهد الكهربى والتردد : ٤٨٠ فولت ـ ٦٠ هرتز
- سرعة المولد ١٨٠٠ لفة / دقيقة
- تحريك ميكانيزم التوجيه raw : محركات كهربية
- نظم التحكم والمراقبة : ميكروبروسسور
- منشط (مشغل) خطوة الريش : هيدروليكى
- **السرعة المقننة عند ارتفاع ٣٠ قدم = ٣ر١٧ ميل/ساعة**
- **اقل سرعة ٨ر٩ ميل / ساعة**
- **أكبر سرعة ٣ر٣٤ ميل/ساعة**
- **وزن الدوار ـ شاملا الريش : ١٢٢٠٠ رطل**
- **أعلى (فوق) البرج ٤٥٠٠٠ رطل**
- **وزن البرج ٤٤٠٠٠ رطل**
- **الوزن الاجمالى ٨٩٠٠٠ رطل**



(شكل ٣ ـ ٢٣)

الطراز ـ ١ ـ بقدرة ٢ م٠و ٠ بمدينة بون ـ كارولينـــا الشمالية ٠



(شكل ٣ ـ ٢٤)

كرسي أو حامل الريشة للطراز ـ « ١ » ٠

ويستخدم النموذج صفر / أ نفس نظـــم التحكم المستخدمة مع النموذج صفر مع اضـــافة نظام متحرك (على عربة Van) لجمع البيانات والذى يمكن ربطه مع توربينـــات النموذج صفر ـ أ ٠ وهذا النظام يقوم بعمل مسح لعدد ١٠٠ (مائة) قناة للبيانات ٠

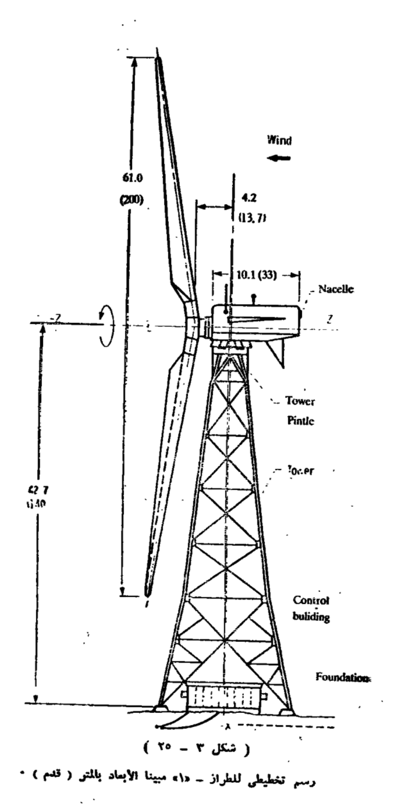
وبالنسبة لتشغيل النموذج صفر ـ أ فنذكر بايجاز شديد :

١ ـ بالنسبة لموقع مدينة كلايتون بدأت التجارب عليه من ٣٠ نوفمبر ١٩٧٧ حتى أكتوبر ١٩٨٢ عمل خلالها أكثر من ١٢٠٠٠ ساعة وأنتج ١١٠٠ ميجاوات ساعة وأهم المشاكل التى لاقاها هى تراكم الثلوج على ريش التوربين مما شكل خطورة واضحة ولتخطى هذه المشكلة تم تركيب جهاز لاستشعار تكون الثلج ويوقف التوربين ٠

٢ ـ بالنسبة لموقع كولبرا بدأت التجارب عليه من ١٦ يونيو ١٩٧٨ حتى ٤ يونيو عام ١٩٨٢ عمل خلالهـــا ٨٠٩٤ ساعة وأنتج ٦٨٣ ميجاوات ساعة وأهم المشاكل زيادة الرطوبة والحرارة مما تسبب تآكل فى بعض التوصـــيلات الكهربيـة علاوة على نمو الفطريات Fungus فى داخل بعض الحزم الالكترونيـــة وعولج ذلك بتركيب أجهزة تكييف هواء ٠

٣ ـ بالنسبة لموقع بلوك آيلاند بدأت التجارب عليه من أول مايو ١٩٧٩ حتى ٤ يونيو ١٩٨٢ عمل خلالها ٨٥٠٩ ساعة وأنتج ٥٥٨ ميجاوات ساعة وأهم التعديلات هو احلال الريش الألومنيوم (عالية التكلفة) بريش خشبية تدور بسرعة ٣١ لفة / دقيقة (عمـل التوربين ذى الريش الخشبية لمدة ٧٥٠٠ ساعة) ٠

٤ ـ وبالنسبة لموقع « أوهو » بدأت التجارب عليه من خريف عام ١٩٧٩ حتى ٤ يونيو عام ١٩٨٢ عمل خلالها ٨٤٤٤ ساعة وأنتج ١٢٦١ ميجاوات ساعة وأهم المشاكل هى كسر أحـــد مســامير الريش الخشبية (وهو أحد ٢٤ مسمارا تستخدم لتثبيت الريشـــة فى جسم التوربين) نتيجة التآكل واستخدمت الريش ذات الطرف المستدير rounded tip بدلا من المربع وعلى الرغـــم من النجاح الكبير لتجارب النموذج صفر ـ أ الا أن التصميمات الأولى له لم تكن اقتصادية وعليه أبعدت من المواقع فى نهاية عام ١٩٨٤ وبينت الدراسات الهندسية التى بدلت أثناء عمليـــات التطوير ضرورة حدوث تطورات تقنية متقدمة لجعـل التوربينـــات الكبيرة أكثر اقتصادا فى التكلفة وتمخضت التحسينات الناتجـة عن ظهـــور



(شكل ٣ ـ ٢٥)

رسم تخطيطى للطراز ـ «أ» مبينا الأبعاد بالمتر (قدم) ٠

الجيل الثانى (النموذج ـ ٢) والجيل الثالث (النموذج ـ ٥) من توربينات الرياح ذات المحور الأفقى ٠

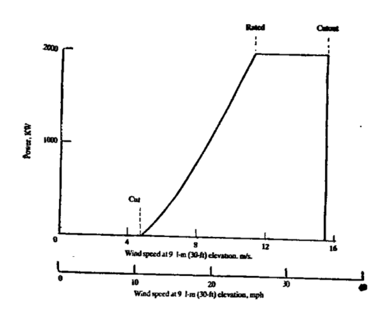
الطراز ١ : وضعت مواصفات أول توربين من حجم « الميجاوات » ـ اضافة الى مواصفات الأحجام البينية intermediate من الطراز صفرا (OA) ـ بمعرفة هيئة الفضاء الأمريكية (ناسا (NASA) عام ١٩٧٥ وذلك كجزء من برنامج لطاقة الرياح وطرحت هيئة ناسا مواصفاتها فى مارس ١٩٧٦ ـ لرجال الصناعة لتصميم ـ تركيب واختبار توربين رياحى سعة ١٥٠٠ ك٠و٠ وارسى العطاء على شركة جنرال الكتريك فى يوليو ١٩٧٦ ٠ وفى مرحلة التصميم اتفق على رفع سعة التوربين من ١٥٠٠ الى ٢٠٠٠ ك٠و٠ لتكون أفضل اقتصاديا وفعلا تم تركيب الطراز بسعة ٢٠٠٠ م ٠ وفى مايو ١٩٧٩ بمدينة بون Boone بولاية كارولينا الشمالية وبدأت تجارب التشغيل على هذا الطراز ٠ أما البيانات الأساسية لهذا الطراز فكانت كالتالى :

ـ القدرة المقننة	٢٠٠٠ ك٠و
ـ عدد ريش الدوار	٢
ـ قطر الدوار	٢٠١ر٧ قدم
ـ سرعة الدوار	٣٥ لفة / دقيقة
ـ وضع الدوار بالنسبة للبرج	بعد البرج (فى اتجاه الريح)
ـ طول الريشة	٩٧ قدم
ـ وزن الريشة	٢١٠٠٠ رطل
ـ نوع البرج	جمالون من المواسير
ـ ارتفاع البرج	١٣١ قدم
ـ نوع المولد	متزامن
ـ قدرة المولد الظاهرية	٢٢٢٥ ك ٠ ف ٠ أ ٠
ـ الجهد الكهربى عند طرف المولد	٤١٦٠ فولت (٣ أوجه)
ـ السرعة والتردد	١٨٠٠ لفة / دقيقة ـ ٦٠ هرتز
ـ التحكم الاشرافى	ميكروبروسسور
ـ منشط (مشغل) التحكم فى خطوة الريشة	هيدروليكى



(شكل ٣ ـ ٢٦)

توربين الرياح طراز ـ «١» بقدرة ٢ م٠و ٠ ـ مدينـــة بون ـ كارولينا الشمالية ٠

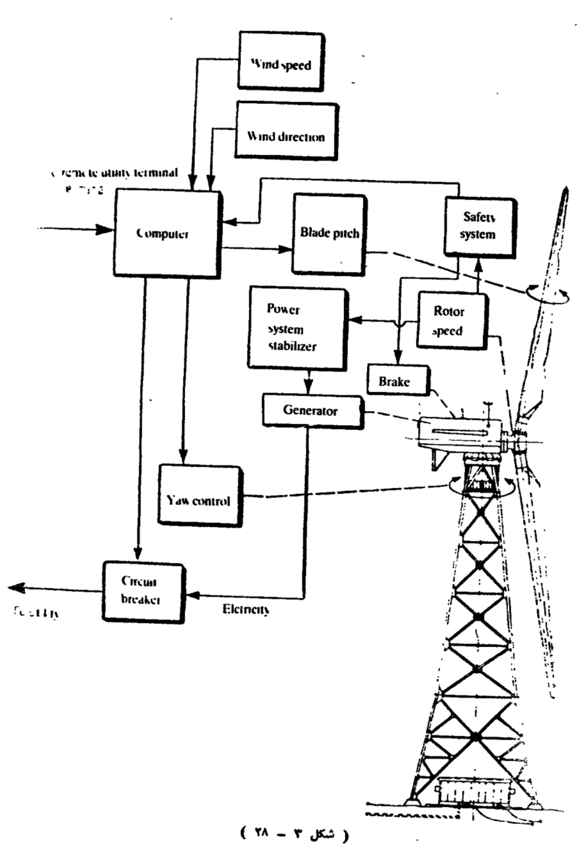


(شكل ٣ ـ ٢٧)

الخصائص التشغيلية لتوربين الرياح الطراز « ١ » ٠

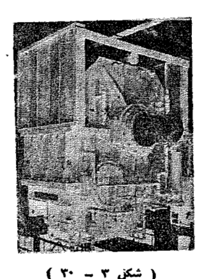
- سرعة الرياح المقننة عند ارتفاع ٣٠ قدم ٣٣ ميل /ساعة
- السرعة الدنيا للتشغيل ١٦ ميل / ساعة
- السرعة القصوى للتشغيل ٣٥ ميل / ساعة
- السرعة القصوى التصميميه ١٢٥ ميل / ساعة
- الوزن الاجمالى ٠٠٠و٦٥٠ رطل (٢٩٥ طن)

وجدير بالذكر فان هذا التوربين ـ وقت تشغيله فى مايو ١٩٧٩ كان يعتبر أكبر توربين رياح فى العالم يتم توصيله باحدى الشبكات الكهربائية . وهذا التوربين بمنشطات أو هيدروليكية Hydraulic Actuators لتغيير خطوة Pitch الريشة للتحكم فى سرعة التوربين عند تغيير سرعة الرياح أما الأجزاء الدوارة وميكانيزم التحكم فقد صممت لتركب على هيكل قاعدى bedplate structure من الصلب يوضع أعلى البرج . وبالنسبة للمولد الكهربى فكان ذى أربع أقطاب أى بسرعة متزامنة ١٨٠٠ لفة / دقيقة (٦٠ هرتز) ومغذى اقطابه (المهيج Exciter) فمركب على نفس عمود الادارة أما الجهد المقنن للمولد هو ٤١٦٠ فولت . وبالنسبة لمغذى الأقطاب فكان من النوع الذى يعمل بدون فرش brushless ومزود بمنظم للجهد مكوناته الأساسية من الجوامد Solid-state وفى جهاز اعادة التوزان Power Stabilizer وتخرج القدرة الكهربائية ـ أو التيار الكهربى ـ من المولد خلال حلقات للانزلاق ثم كابلات الى أسفل البرج حيث كشك أرضى ووضعت مكثفات الصدمات الفجائية Surge والمهمات المتعلقة بتوليد الطاقة الكهربائية داخل صندوق (قفص) Caged enclosure أسفل المولد . ويتحكم محركان للتوجيه هيدروليكيان Yaw Motors فى دوران مجموعة القمرة nacelle بما فيها الأجزاء الدوارة والهيكل القاعدى bedplate ويقوم كل محرك توجيه بادارة ترس متشابك meshing مع مجموعة تروس على الوجه الداخلى لكرسى المحرك التوجيهى وتقوم ٦ (ستة) فرامل هيدروليكية لفرملة الحركة للقمرة لوضعها (لامساكها) عند دوران الدوار rotor نتيجة الرياح . وبعد تشغيل الطراز (١) تم توصيله الى شبكة توزيع جهد ١٢٠٠٠ فولت فى مقاطعة واتوجا بولاية كارولينا الشمالية والتى تخدم مدينة بون وكذا بقية المقاطعة وتم عمل توافق Synchronization لوحدة الرياح هذه مع الشبكة الكهربائية التابعة لمؤسسة بريمك BREMC (أقصى حمل



(شكل ٣ ـ ٢٨)

شكل مبسط لتوضيح نظام التحكم (السيطرة) على الطراز ـ « ١ » .



(شكل ٣ - ٣٠)

صندوق التروس للطراز - « ١ » ٠

لها ١٣٦ ميجاوات) فى سبتمبر ١٩٧٩ وتم توصيلها بمركز الأحمال لمؤسسة بريمك خلال عام ١٩٨٠ ومما يذكر أنه أثناء فترات التجارب على هذا التوربين خلال عامى ٧٩/١٩٨٠ أن صـــدرت بعض الشكاوى من السكان المقيمين قريبا من هذا التوربين من حدوث تداخل (أو شوشرة) صادرة من مولد الرياح هذا على الاستقبال التليفزيونى مما حدا المسئولين الى اجراء دراسة لتقييم الآثار البيئية وفعلا أجرى عدد من الدراســات خلال عام ١٩٨٠ على موقع « الطراز ١ » بالنسبة للاستقبال التليفزيونى وكان من بين الحلول المقترحة ما يلى :

١ - تقييم خواص التكبير للهوائى (تكبير عال / تكبير منخفض) ٠

٢ - اعادة اذاعة الاشارات Signals التليفزيونية محليـا ٠

٣ - التوسع فى التليفزيون السلكى Cable TV بالنســبة للمناطق التى تاثر الاستقبال التليفزيونى بها ٠

وبعد جهود بحثية كبيرة أمكن التوصـــل الى أن تخفيض سرعة التوربين يمكن أن تؤدى الى تحسن ملحوظ بالنسبة للاستقبال التليفزيونى فى المنطقة القريبة لموقع المحطة ٠ وبناء عليه خفضت سرعة التوربين من ٣٥ الى ٢٣ لفة / دقيقة ومن ثم تم تركيب مولد كهربى متزامن جديد بسرعة ١٢٠٠ لفة / دقيقة ٠ والحقيقة فان التجارب التى أجـريت على « الطراز - ١ » زودت المصممين بمعلومات على جانب كبير من الأهمية

(شكل ٣ ـ ٢٩)

ميكانيزم التحكم فى خطوة الريش للطراز ـ « ١ » .

وخاصة بالنسبة لخفض كلا من « الضوضاء » الناتجـــة عن التوربين والتداخل مع الاستقبال التليفزيوني بمنطقة المحطة • ولأن الطراز ـ ١ شأنه في هذا شأن الطراز صفر أ ـ لم يكن اقتصاديا بدرجة جذابة للاستخدام التجاري وعليه تقرر انهاء التجارب عليه وأسدل عليه الستار ليبدأ الجيل الثاني من توربينات الرياح الضخمة ذات المحور الأفقي •

الطراز ـ ٢ : أعدت هيئة الفضـــاء الأمريكيـــة ناسا NASA المواصفات اللازمة لتصنيع ثاني توربين رياح من حجم الميجاوات لحساب ادارة بحوث وتطوير الطاقة الأمريكية « أردا » ERDA في عام ١٩٧٦ وطلبت هيئة ناســا من المناقصـين التقدم بعطاءاتهم في فبراير ١٩٧٧ لتصميم وتركيب وعمل الاختبارات اللازمة لمنظومة توربينية رياح سعتها أكبر من الميجاوات Multimegawatt وأرسى العطاء على شركة بوينج الهندسية • وحددت الأهداف التالية لهذا المشروع ـ والذي أطلق عليه « الطراز ـ ٢ » :

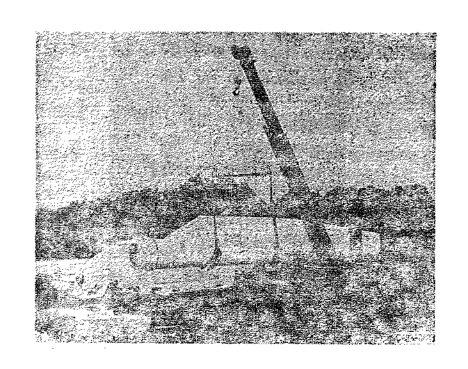
ـ اعداد نظام بديل لتوليد الكهرباء يكون اقتصاديا وذي حيثية تمكن من تقليل الاعتماد على نظم التوليد التي تستخدم الوقود الحفري •

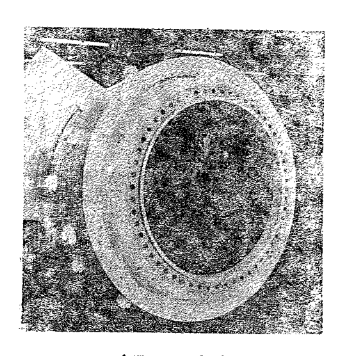
ـ دراسة امكانية جدوى تشغيل توربينات الرياح ذات السعات الكبيرة (عدة ميجاوات) وتوصيلها بالشبكات الكهربائية •

ـ تحفيز رجال الصناعة لتطوير توربينات الرياح لتوليد الكهرباء على نطاق تجاري •

ملحوظة : حلت ادارة الطاقة الأمريكية DOE محل أردا في عام ١٩٧٧

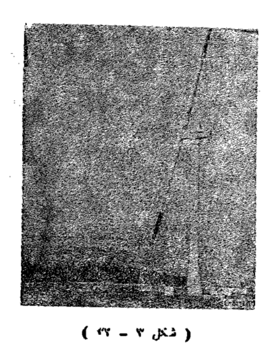
ولقد تمخضت الخبرة التي اكتسبت أثناء تصميم واجراء تجارب التشغيل على الطراز صفر ـ ١ والطراز ـ ١ عن تحسينات أساسية في شكل (أو هيئة الطرز ـ ٢ فعلى سبيل المثال فان الدوار ـ للطراز ـ ٢ أعيد وضعه ليعمل قبل البرج (بالنسبة لاتجـــاه الرياح Upwind) وبذلك أصبح التوربين يعمل بشكل أكثر هدوء (أقل صخبا) بالقياس الى الطراز ـ ١ ـ (والذي فيه الدوار بعـــد البرج) كذلك فان الدوار يعمل بأحمال ميكانيكية أقل منه في حالة الطراز ـ ١ ونتيجة لذلك فان وزن الدوار (الروتور) للطراز ـ ٢ أقف وزنا من المقابل للطراز ـ ٢ هنالك خاصية أخرى يتميز بها الطراز ـ ٢ وهي طريقة التحـــكم في





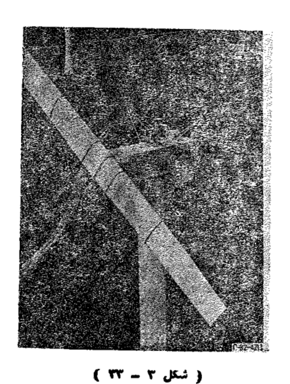
(شكل ٣ - ٣١)

الطراز ـ « ١ » الريش مصنعة من الألياف الزجاجية ٠



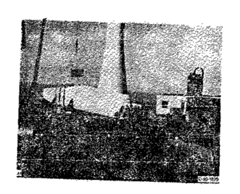
(شكل ٣ ـ ٣٢)

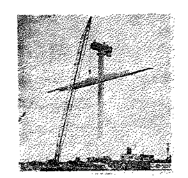
الطراز ـ «٢» قدرة ٥ر٢ م٠و ٠ بمدينة « جودنو ـ هيلز » بولاية واشنطن ٠

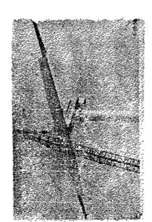


(شكل ٣ ـ ٣٣)

الطراز « ٢ » ـ الدوار (الروتور) ـ الكابينة (التمرة) ٠







(شكل ٣ ـ ٣٤)

الطراز ـ «٢» بطول ٩١٫٥ متر والروتور من الصلب الملموم أثناء التجميع •

(أ) أثناء الاعداد للتجميع مع عمـــود منخفض السرعة •

(ب) أثناء التجميع •

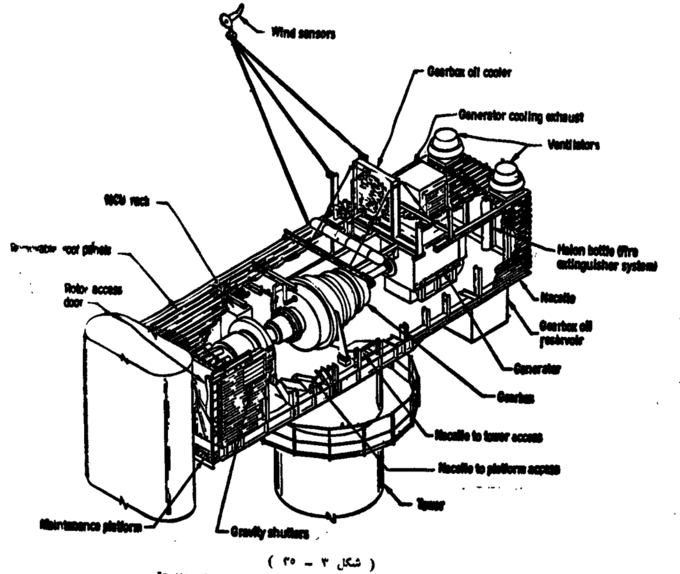
(جـ) بعد التجميع •

السرعة والقدرة الخارجة حيث تستخدم الحافة الخارجية outer pitch لكل خطوات ريش الدوار ـ وليس كل أجزاء الريش كما فى النموذج ـ ١ مثلا ـ فى التحكم ومن ثم يطلق عليها التحكم الجزئى Partial-Span pitch Control أما البرج المستخدم مع النموذج ـ ٢ فانه اسطوانى مرن مصنوع من الصلب بخلاف النماذج السابقة والتى يكون فيها البرج عبارة عن جمالون Truss من الصلب كذلك ٠

أما البيانات الأساسية للطراز ـ ٢ فهى كالتالى :

ـ القدرة المقننة	٢٥٠٠ ك٠و٠ النموذج ـ ٢
ـ عدد ريش الدوار	٢
ـ قطر الدوار	٣٠٠ قدم (٥ر٩١ متر)
ـ سرعة الدوار	٥ر١٧ لفة / دقيقة
ـ وضع الدوار بالنسبة للبرج قبل البرج (فى اتجاه الرياح)	
ـ نوع البرج	من الصلب الاسطوانى الشكل
ـ ارتفاع البرج	١٩٣ قدم
ـ السرعة والتردد	١٨٠٠ لفة / دقيقة ـ ٦٠ هرتز
ـ التحكم الاشرافى	ميكروبروسسور
ـ منشط التحكم فى خطوة الريشة	هيدروليكى
ـ سرعة الرياح المقننة عند ارتفاع ٣٠ قدم	٢٨ ميل / ساعة
ـ السرعة الدينا للتشغيل	١٤ ميل / ساعة
ـ السرعة القصوى للتشغيل	٤٥ ميل / ساعة
ـ السرعة القصوى التصميمية	١٢٤ ميل / ساعة
ـ الوزن الاجمالى	٦١٩٠٠٠ رطل (٢٨١) طن

نظام التحكم فى الطراز ـ ٢ : ويقوم هذا النظام بكل من الاستشعار الحسابات واعطـــاء الأوامر اللازمة لتشغيل هذا الطراز ٠ أما الحاكم Controller فهذا عبارة عن ميكروبروسسور يوضع داخـــل وحدة



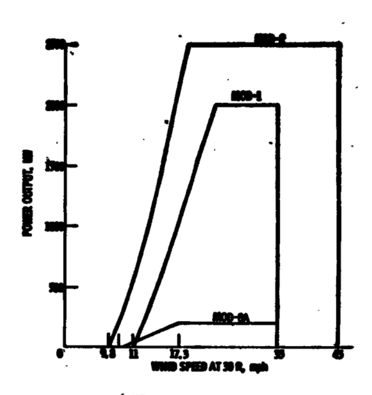
(شكل ٣ ـ ٣٥)
الطراز ـ «٢» ـ رسم تفصيلي للكابينة (القمرة) والمهمات الملحقة ٠

التحكم الخاصة بكابينة المحــرك • وكما هو الحال فى التصميمات السابقة يقوم الميكروبرسسور ببدء التشغيل ـ مراقبة ظروف أو حالات الرياح ـ سرعة الدوار ـ القدرة الخارجة وكذا حالة المعدات باستمرار كما يقوم بايقاف التوربين فى الحالات الاضطرارية التى تستدعى ذلك وتحتل البرمجيات Software اللازمة للحاكم حوالى ١٢٠٠٠ بايت من ذاكرة القراءة فقط المبرمجة rogrammable Read Only memory (PROM) علاوة على ٤٠٠٠ بايت مــن الذاكـــرة العشوائيـــة Random Access Memory (RAM) لتخزين البيانات التاريخية وكذلك البيانات اللازمة للتشغيل وصممت دورة برمجيات التحكم Software Control Cycle لتكون ١٠ هرتز وكل دورة بروجرام تقوم بأخذ عينات Samples لجميع المستشعرات Sensors تجدول الطريقة الملائمة للتشغيل ـ وتولد الأوامر الخاصة بتوجيه الكابينة (القمرة nacelle) بالنسبة لاتجاه الرياح •

الطراز ـ ٥ : أعدت هيئة الفضاء الأمريكية ناسا ـ تحت اشراف وتوجيه ـ وزارة الطـاقة الأمريكية DOE المواصفات الخاصة بجيـل ثالث من توربينـــات الرياح المتقدمة ذات السعة أكبر من الميجاوات Multimegawatt وطرحت هذه المواصـفات فى أغسطس ١٩٧٩ بين الشركات الصناعية لتقديم مقترحاتها الخاصة بتصميم ثم تصنيع واقامة وكذا اجراء التجارب اللازمة لهذا الجيل الثالث لتوربينـــات الرياح • فلقد أثبتت الدراسات التحليلية لنظام الطراز ـ ٢ أنه يمـــكن تحقيق اقتصاد فى تكلفة وحدة الطاقة المولدة بتطوير طراز آخر ـ أطلق عليـه الطراز ـ ٥ • •

وهذا الطراز ينبغى أن يكون أكبر حجما من الطراز ـ ٢ مع تطبيق تقنية متقدمة فى تصميمه وفقا لبرنامج الرياح الفيدرالى الأمريكى ووضع هدف رئيسى لهذا المشروع وهو تطـوير توربين ياح ذى ســـعة عـــدة ميجاوات يتكلف وحدة انتاج الطاقة فيه ٣٫٧ سنت ـ أو أقل ـ بمقياس دولار عام ١٩٨٠ • وأرسى عطاء المشروع على شركتين لتعملا بالتوازى لوضع تصميماتها وهما شركة جنرال اليكتريك وشركة بوينج واستكمل انجاز التصورات لهذه التصميمات فى مارس ١٩٨١ • واعتمد التصورات بعد نجاحهما فى نفس العام ـ وهذه التصورات ـ كانت تتطلب تطوير تقنيات متقدمة فى فروع (مجالات) عديدة مثل :

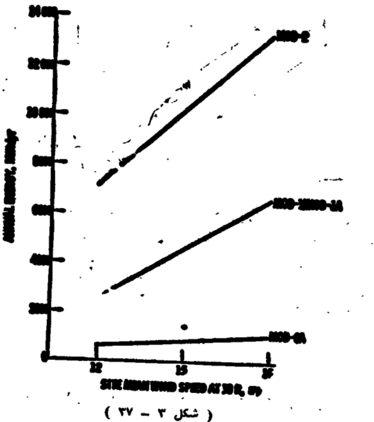
ـ مجال الدورات ذات السرعات المتغيرة •



(شكل ٣ ـ ٣٦)

القدرة الخارجية بدلالة سرعة الرياح للطرازات : صفر ـ أ » ـ

ـ » ١ « ـ » ٢ « ٠



(شكل ٣ ـ ٣٧)

الطاقة الســـــنوية الخارجة للطرازات « صفر ـ ١ » ١ ـ ١ ـ

(١ ـ أ) ـ «٢» ٠

ـ تصنيع الريش من صفائح l aminatoins من مواد مركبة من الخشب وال epoxy

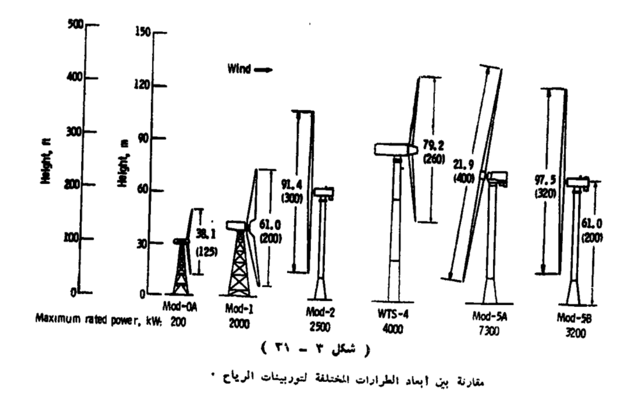
ـ صندوق التروس الذى يكون مع الدوار جزءا واحدا متكاملا ٠

ـ نظام مولد / مقوم Cycloconverter ذى السرعة المتغيرة ٠

وتضمنت العقود مع الشركتين بندا خاصا بالمشاركة فى التكلفة بمعنى أن تمول الحكومة باقى أعمال التصميمات والتطوير وتتولى الشركتان المقاولتان ـ أو عملائهما من مؤسسات الكهرباء ـ تدبير التمويل اللازم لتصنيع وتركيب وتشغيل توربينات الرياح وتملك هذه التوربينات كاملة بعد ذلك للمقاولين ـ أو عملائهم ويسلم للحكومة تقارير نصف سنوية تتضمن بيانات التشغيل والأداء لمدة ثلاث سنوات بعد بدء التشغيل ٠

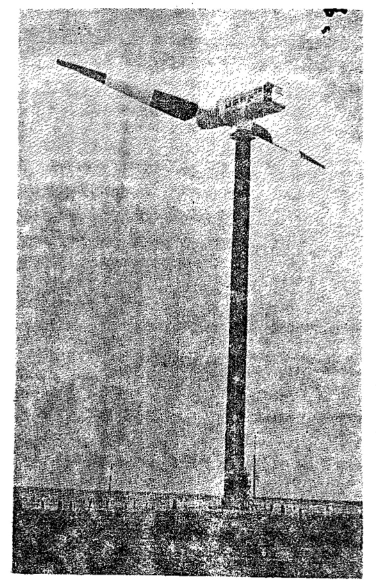
ووقعت شركة جنرال اليكتريك ـ فى يونيو ١٩٨٣ ـ عقدا مع شركة كهرباء هاواى بمقتضاه تشترى شركة هاواى من شركة جنرال اليكتريك توربين رياح تجريبى Prototype طراز ـ ٥ أ ليركب بموقع « كاهوكو هيلز » وخطط فعلا لتركيبه وتشغيله وادخاله على شبكة هذه الشركة فى أواخر عام ١٩٨٥ الا أن شركة جنرال اليكتريك أعلنت عزمها على الانسحاب من المشروع فى ديسمبر ١٩٨٣ لأمور تتعلق بالاعفاءات الضريبية ولكن شركة بوينج استكملت دراساتها ـ للطراز ـ ٥ ب ٠

وجدير بالذكر فان المكتب الأمريكى للاستصلاح Bureau of Reclamation كان قد بدأ برنامجا ـ فى أواخر السبعينات ـ يهدف الى ترشيد تدفق المياه خلال التوربينات المائية من خلال طاقة الرياح وقام فعلا بعمل تجارب اختيارية على توربينات الرياح ـ ذات السعة أكبر من الميجاوات وموصلة مع الشبكة الهيدروكهربية وبعد أن حدد هذا المكتب موقعا لاقامة مشروعه التجريبى والذى يشمل اقامة اثنين من توربينات الرياح الكبيرة بالقرب من مدينة ميديسن بو Medicine Bow بولاية وايومنج الأمريكية طلب المعاونة الفنية من هيئة ناسا لويس ٠ واختارت الهيئتان (ناسا ـ ومكتب الاستصلاح) فريقا من قسم هاميلتون ستاندارد فى مؤسسة يونيتد تكنولوجيز الأمريكية وشركة KKRV السويدية لتصميم وتصنيع وتركيب واختبار توربين رياح سعة ٤ ميجاوات ٠ وباستخدام كل من التمويل



(شكل ٣ - ٣١)

مقارنة بين أبعاد الطرازات المختلفة لتوربينات الرياح .



شكل (٣ -)

توربين رياحي من طراز SVU السويدي/أمريكي

الحكومي وتمويل هذه الشركات امكن لهذا الفريق الأمريكي ــ السويدي ــ النجاح في تركيب واحدة اطلق عليها The WTS-4 System Verification Unit - SVU وبدأت التجارب عليه في سبتمبر ١٩٨٢ ٠

وتوربين WTS-4 هذا عبارة عن توربين رياح ذى ريشتين وقطر الدوار يبلغ ١ر٧٨ مترا ــ ويعمل الدوار (الروتور) ــ وهو بعد البرج في اتجاه الرياح downwind وينتج قدرة ٤ ميجاوات عند سرعة للرياح تبلغ حوالى ١٥ متر / ثانية يتم قياسها عند ارتفـــاع حــوالى ٨٠ مترا ٠ ويبين الجدول (٣ ــ ١) مقارنة سريعة لكل من ــ الطراز ــ ٥ أ لطراز ٥ ــ ب والطراز ٠

جدول (٣ ـ ١) : مقارنة بين خواص توربينات الرياح للجيل الثالث

المقاول	الطراز ٥ ا	الطراز ٥ ب	
المقاول	جنرال اليكتريك	بوينج	الطراز SVU WTS-4 هاميلتون ستاندارد ويونتيد تكنولوجيز
موقع المشروع	أسدل الستار على المشروع في ديسمبر ١٩٨٣	أوهو ـ هاواى	ميديسن بو ـ وايومينج
تاريخ بدء الادارة (الدوران)	ـــ	أواخر عام ١٩٨٥	أغسطس ١٩٨٢
ارتفاع مرز الريش (متر)	٧٦ر٢	٦١	٧٩ر٩
قطر الدوار (الريش)	١٢٢	٩٧ر٦	٧٨ر١
القدرة المقننة (ك • و)	٧٣٠٠	٣٢٠٠	٤٠٠٠

تابـع الجـدول (٣ ـ ١)

	الطراز ٥٠٠ أ	الطراز ٥ ب	الطراز SVU WTS-4
السرعة المقننة للرياح (عند ارتفاع مركز الريش) متر / ثانيـة	١٤٫٣	١١٫٦	١٤٫٨
الطاقة المولدة سنويا باعتبار ان ٩٠٪ مـن طـاقة الرياح المتاحة تقاس عند منســوب ٩٫١ متر فوق سطح البحر			
ـ فى موقع ٥٫٤ متر/ثانيـة	١٣ ٢٠٠ ك٠و٠س	٨٢٠٠ ك٠و٠س	٧٠٠٠ ك٠و٠س
ـ فى موقع ٦٫٣ متر/ثانية	٢٠٦٠٠ ك٠و٠س	١٢٠٠٠ ك٠و٠س	٩٩٠٠ ك٠و٠س
ـ فى موقع ٧٫٢ متر/ثانية	٣٠٧٠٠ ك٠و٠س	١٧٩٠٠ ك٠و٠س	١٣٠٠٠ ك٠و٠س

تابع الجدول (٣ ـ ١)

	الطراز ٥٠١	الطراز ٥ ب	الطراز
ادنى سرعة للرياح (عند مركز الريش) متر/ثانية	٦٫٣	٤٫٩	٦٫٧
اقصى سرعة للرياح	٢٦٫٨ هـ	٢٦٫٨	٢٤٫٦
الوزن الاجمـــالى (أعلى الأساسات)	٧٦٩ طن	٣١٣ طن	٣٥٣ طن
الوزن النوعى (كم /ك٠و)	١٠٥	١٢٩	٨٨

توربينات الرياح ذات المحور الراسى

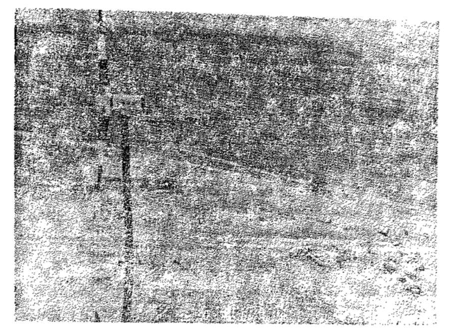
توربينات الرياح ذات المحور الرأسى Vertical Axis wind Turbines لهـــا بعض المزايا التى تتفوق فيهـــا على التوربينـــات ذات المحـــور الأفقى فتوربينـــات المحور الرأسى VAWT لا يســـتدعى الأمر معهـــا لفها (ادارتها) لكى تواجه الرياح ومن ثم لايســـتدعى الأمر اضـــافة الميكاينزم اللازم للتوجيه ميزة ثانية تتمتع بها توربينـــات رياح المحور الرأسى وهى حيث أنه يمـــكن تركيب كل من المولد الكهربى وملحقـــات الادارة (صندوق التروس مثلا) قريبة من سطح الأرض وعليه لايستلزم الأمر الحاجة الى أبراج عالية • ولكن يقابل هذه المزايا عيب كبير وهو أن الطاقة الكهربية المولدة أقل من توربينـــات المحور الأفقى حيث أن الأخيرة لها نسبة (سرعة حافة (tip) / سرعة رياح) أعلى •

وجدير الذكر فان أحد تصميمات التوربينات ذات المحور الرأسى ـ والمعروفة باسم داريى (نسبة الى العالم الفرنسى داريى Darrieus) أخذت نصيبا لا بأس به من اهتمام وزارة الطاقة الأمريكية وأجرى عليها أبحاث بهدف تطويرها بمعمـــل (ســـانديا القومى الأمريكى) ويتميز توربين داريى Darrieus بأن له ريش مقوسة ذات مقاطع مثـــل أجنحة الطائرة مرتبة بشكل خاص يشبه خفاق البيض(أ مضرب البيض) الضخم وهذا التصميم يجعلها تتميز بعزم لبدء الدوران Starting Torque منخفض بينما يدور التوربين بسرعات عالية بمجـــرد بدء تشغيله بواسطة طيقة مساعدة •

توربينات الرياح ذات التقنيات الحديثة والمتقدمة

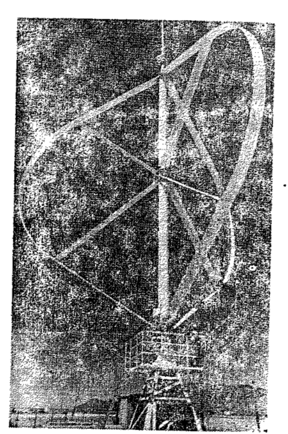
من الطبيعى أن تتمخض الأبحاث والابتكارات عن أنواع جديدة من توربينات الرياح ويمكن أن نقول ـ بشكل عام ـ أن المحـــرك الرئيسى خلف البحث عن أشكال جديدة لتوربينات الرياح هو ايجاد أكثر الطرق فعالية ـ اقتصاديا ـ لتحويل طاقة الرياح الى طاقة مفيدة • ولتحقيق ذلك بدأت التصورات الجديدة وكأنها تناضل أو تكافح من أجل تحقيق أهداف من بينها :

- تحقيق أعلى كفاءة (جودة) لاستحواذ طاقة الرياح
- ـ التشغيل خلال مدى واسع لسرعات الرياح
- ـ تحقيق سرعات دوران (للتوربين) عالية



(شكل ٣ ــ ٣٩)

التصميم WTS-4 سعة ٤ م.و الذى قدمه مكتب الاستصلاح الأمريكى وتم تركيبه بالقرب من مدينة « ميديسين ــ بو » ولاية وايمنج الأمريكية .



(شكل ٣ ــ ٤٠)

توربين الرياح ذى المحور الرأسى .

ـ تصميم نظام التوربين بحيث توضع المكونات الثقيلة الوزن والتى تتطلب صيانة مستمرة بالقرب من سطح الأرض ٠

ـ تصميم نظم التحكم بشكل مبسط جدا

وتمخض هذا السباق التقنى عن أفكار جديدة مثل مهمات devices لتركيز الرياح ـ زيادة عدد الريش الدوار ٠ وكذلك النظم التى تعمل دون أجزاء متحركة فيها وفعلا قامت وزارة الطاقة الأمريكية بتدعيم أكثر من ١٢ تصور منها ٠

وأحد الابتكارات الجديدة فى مجال تحويل طاقة الرياح مايعرف بتوربين الرياح الرشاش Diffuser - Augmented Wind Turbine ويستخدم هذا التوربين غطاء (أو سترة) تغلف قوس ريشة التوربين من الخارج التى تمدد أو تنشر تدفق الهواء بعد الريش (فى اتجاه الهواء (downstream) وهذا التمد من شأنه جذب ـ أو شد ـ المزيد من الهواء نحو الجانب الآخر (upstream) للريش أو بتعبير آخر يزيد من تركيز الرياح نحو التوربين ٠ ويمكن لهذا التدفق الكبير للهواء أن يرفع القدرة المولدة من التوربين الى أربعة أضعاف بالنسبة للتوربين التقليدى ٠ ولكن المشكلة هنا هى بزيادة التكلفة نتيجة اضافة الغطاء diffuser shroud علاوة على تصميم هيكل Structure يعتبر من الوجهة العملية ـ لتدعيم هذه السترة فى حالات الرياح ذات السرعات العالية ٠

هنالك ابتكار آخر يطلق عليه « المستميل الديناميكى Dynamic Inducer وهو عبارة عن نظام يستخدم جنيحات a irfoils قصيرة والتى تربط عمودية ـ تقريبا ـ على طرف (أو سن) ريش الدوار للتوربين ذى المحور الأفقى ومن الناحية النظرية يمكن هذا الابتكار من زيادة أو رفع القدرة المولدة الى مرتين ونصف ضعفا الا أنه الاختبارات التى أجريت عليه ـ داخل انفاق رياح wind Tunnels تجريبية ـ لا تتجاوز ٧ر١ ضعفا ٠

هنالك تصور ثالث ولكنه فريد من نوعه حيث يمكن استخلاص الطاقة من الرياح باستخدام نظام ليس فيه أجزاء متحركة وهذا النظام يطلق Electrofluid Dynamic Wind-Driven Generator وفى هذا النظام تنتج جزيئات ـ بطريقة ميكانيكية ـ وتشحن كهربائيا ـ قبل (فى اتجاه الريح Upwind) مصفوفة موجهة من الأقطاب مشحونة عند جهد أعلى ٠ وتكسح الرياح (أو تسوقها) هذه الجزيئات خلال المصفوفة وضد

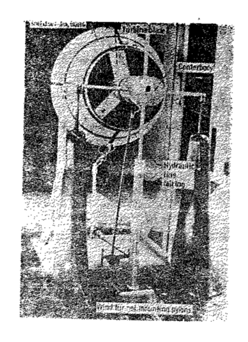
الجهد Potentia الكهربى ونتيجة لعملية نقل الجزيئات المشحونة الى مستوى أو جهد كهربى أعلى تتولد طاقة كهربية • وأيدت التجارب التى أجريت باستخدام انفاق الرياح ـ صحة هذه النظرية •

اقتصاديات توربينات الرياح

على الرغم من أن الأبحاث التى أجريت بالنسبة للتصميمات المبتكرة قد تنتهى الى مستقبل أفضل ـ من حيث الكفاءة والتكلفة الأقل ـ للأجيال المقبلة من توربينات الرياح الا أن ـ أسعار هذه النظم بالنسبة للجيلين الثانى والثالث ـ وعند انتاجها بكميات كبيرة ـ تعتبر ذات عنصر جذب بالنسبة لمؤسسات الكهرباء ولقد أجريت تقديرات اقتصادية على أساس انتـــاج للطراز ـ ٢ على أســـاس انتاج مئات من الوحدات • ويبين الجدول (٣ ـ ٢) التقديرات •

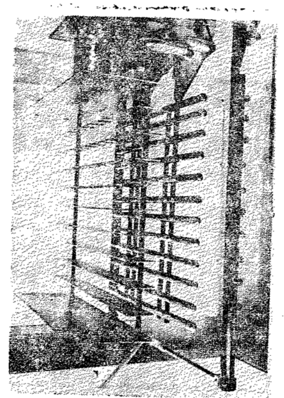
جدول (٣ ـ ٢) موجز للتكلفة لمئات الوحدات المنتجة

حساب تسليم مفتاح	التكلفة بدولار منتصف عام ١٩٨٠
ـ اعداد الموقع	٢٠٣٠٠٠
ـ النقـــل	٣٦٠٠٠
ـ التركيبـــات	١٧١٠٠٠
ـ الدوار (الروتور)	٤١١٠٠٠
ـ مجموعة الادارة	٤٧٤٠٠٠
ـ كابينة المحرك (القمرة)	٣٣٠٠٠٠
ـ البـــرج	٣٣٩٠٠٠
ـ قطع الغيـــار الأصليـــة (المبدئية)	٤٤٠٠٠
ـ طوارىء	٤٤٠٠٠
ـ اجمـــالى التكلفـة الأولية (المبدئية)	١٩٥٢٠٠٠
ـ الأجور (١٠٪)	١٩٥٠٠٠
ـ اجمالى تكلفة تسليم المفتاح	٢١٤٧٠٠٠
ـ تكلفة التشغيل والصيانة السنوية	١٩٠٠٠



(شكل ٢ – ٤١)

توربين الرياح الرشاش .



(شكل ٣ – ٤٢)

نظام مبكر لاســـتخلاص طاقة الرياح بدون أجزاء متحركة . **Electrofluid-Dynamic**

ولقد افترضت هذه التقديرات ما يلي :

١ ـ الأسعار على أساس قيمة الدولار في منتصف عام ١٩٨٠

٢ ـ مجموعات عنقودية من ٢٥ وحدة

٣ ـ معدل تركيبات وحدة واحدة في كل شهر

٤ ـ مواقع مستوية بشكل عام مع عوائق طبيعية قليلة

٥ ـ أن التربة يمكن اعدادها بسهولة لالقاء الأساسات

٦ ـ لم تتضمن التقديرات تكلفة القروض ٠

٧ ـ مسافة النقل من المصنع الى الموقع ١٠٠٠ ميل ٠

تكلفة انتاج الطاقة من مولد كهربي يعمل بطـــاقة الرياح تشـــمل ثلاث عناصر هي :

تكلفة رأس المال ـ التشغيل والصـــيانة ـ واستحواذ الطـــاقة Energy Capture ويعبر عنها بالمادلة ٠

تكلفة انتـــاج الطاقة = $\frac{IC \times FCR \quad AOM}{AEP}$ = ٤ر١ سنت / ك٠و٠س ٠

حيث أن FCR = معدل الهلك والفائدة والضرائب والتأمينات سنويا واتخذ في هذا المثال مساويا ١٨٪ في السنة ٠

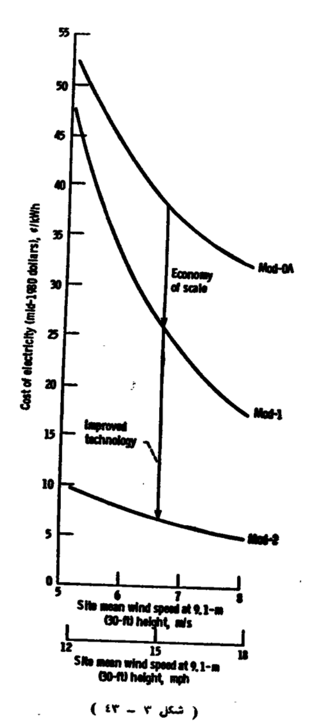
IC = التكلفة الأولية (تسليم مفتاح) لمنظومة الطاقة وفي هذا المثال قدر بمبلغ ٢١٥٠٠٠٠ دولار

= التكلفه السنوية للتشغيل والصيانة = ١٩٠٠٠ دولار في هذا المثال ٠

AOM = كمية الطاقة المتوقعة سنويا = ٧٥ر٩ × ٦١ ك٠و٠س في هذا المثال ٠

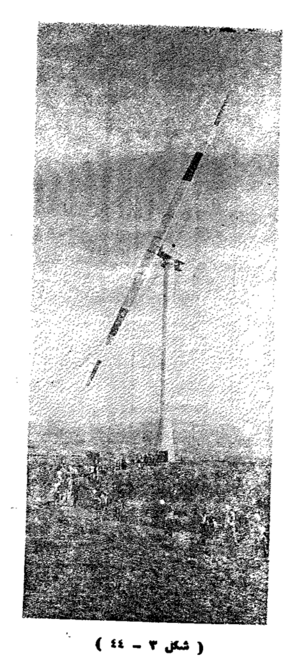
الآثار البيئية لتوربينات الرياح

على الرغم من المزايا البيئية التى تتمتع بها توربينـات الرياح ـ مقارنة بمصادر الطاقة الاخرى من حيث عدم انتاجهـا لأى ملوثات للجو أو للمياه الا أنه هنالك عوامل أخرى لابد من أخذها في الاعتبار هي :



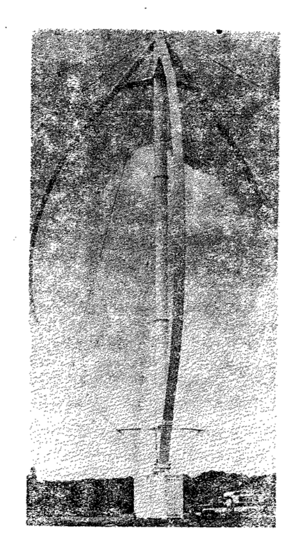
(شكل ٣ ـ ٤٣)

تكلفة الطاقة الكهربائية المولدة من الرياح للطرازات « صفر أ » ـ « ١ » ـ « ٢ » عند السرعات المختلفة للرياح .



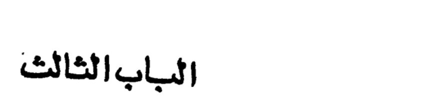
(شكل ٣ ـ ٤٤)

توربين رياحى بمحور أفقى تم تركيبه بالقرب من « جولدن ذيل » بولاية واشنطن الأمريكية وقطر الدوار ٣٠٠ قدم »



(شكل ٣ – ٤٥)

توربين « داريوس » الرياحي ذو المحور الرأسي
(يمكن أن يكون أفضل من الأفقي في حالات معينة
على الرغم من عدم انتشار استخدامه كثيرا) .


الباب الثالث

١ – المضايقات الناتجة عن الصوت ذى التردد المنخفض الصادر عن هذه التوربينات ·

٢ – الشوشرة أو التداخـــل فى الاســـتقبال المحلى للبرامج التليفزيونية ·

وهذين العاملين اكتشـفا عند تشغيل أول توربين – من حجـــم الميجاوات فأكثر (الطراز – ١) · فى مدينة بون بولاية ورث كارولينا ·

وبالنسبة للعامل الأول فقد تم الاقلال من شأنه أو تأثيره من خلال تقليل سرعة التوربين من ٣٥ الى ٢٣ لفـة فى الدقيقـة ونتج عن ذلك الاجراء خفض مستوى الصوت بالقـــرب من التوربين بما مقـــداره ١٠ ديسبيل (DB)

وبالنسبة للعامل الثانى وهو التداخل فى الاســتقبال التليفزيونى بالقرب من موقع التوربين نتيجة انعكاس الاشـــارات فى المنطقة المحيطة مباشرة بالموقع · وأثبتت الأبحاث أن هذا التداخـل يكاد يكون محدودا داخل نطاق قطـره ½ ١ ميـل فقط · ومن بين الحلول المكنـــة لهذه المشكلة هو استخدام التليفزيون السلكى Cable TV فى المناطق التى يتاثر الاستقبال التليفزيونى بها · كذلك يمـــكن باعـادة اذاعة الاشارات التليفزيونية من خلال استعمال مترجمات Translators ·

وجدير بالذكر أن الدراسات التى أجريت على هذا العامل لم تثبت نجاح استخدام الهوائيات المخصوصة ذات الأداء العالى ·

الفصل الرابع

طاقة المد والجزر

تعرف ظاهرة الارتفاع والانخفاض الدورى لمياه المحيطات (أو أى أجسام كبيرة أخرى من الميـاه بالنسـبة للأرض المحيطة بها) عامة بالمد والجزر .

وحيث أن الكرة الأرضية ليست جسـم صلب تمـاما فهنالك حركات مد وجزر فى الأرض نفسها . وملاحظة (مراقبة) المد والجزر للأرض قد زودنا بمعلومات هامة ومفيدة عن مدى صلابة جوف (باطن) الأرض .

وتنتج ظاهرة المد والجزر عن مجموعة مؤتلفة من عدد من القوى الخارجية وأهمها قوة التجاذب من القمر . ونتيجة للتباينات المسافيـة ما بين القمر والأجزاء المختلفة من الأرض فان قيمة قوة التجاذب مع القمر تختلف من مكان لآخر ومن ثم فتميل الى انتـاج تشويه (أو عيب شكلى Deformation) .

وتأتى قوة المد والجزر الناتجة عن جاذبية الشمس فى المرتبـة الثانية من الأهمية بعد قوة الجذب القمرية . وتعمل قوتا الجاذبية ـ من الشمس والقمر ـ فى اتجاهين متوازيين مرتين كل شهر قمرى (أوقات المحاق والبـدر) ومن ثم فينتجا أقصى مدى بقيمـة المد والجزر والتى تعـرف بالمد والجزر التـام Spring Tides . وفى فترات « التربيع القمرى » أو الربع الأول والثالث من الشهر القمرى حيث تعمل القوتان فى اتجاهين متعامدين ومن ثم تكون المحصلة أقل مدى لقيمة المد والجزر وتعرف بالمد والجزر الناقص "Neap Tides" وهنالك قوى أخرى للمد والجزر تلى هاتين القوتين فى الأهمية مثل :

- القوى الناتجة عن دوران الأرض حول محورها .
- القوى الناتجـة عن دوران مجموعتى الأرض والقمـر حول الشمس .

ـ القوى الناتجة عن دوران مجموعة الأرض والشمس .

ومن ذلك نرى أن عمليـــة التنبؤ بالمد والجزر واحدة من أعقـد العمليات . بل أن التحليل التوافقى Harmonic Analysis لما يتم رصده من ظواهر المد والجزر بين لنا وجود قوى جذب أخرى ناتجة عن العديد من الكواكب السيارة الكبيرة . وفى المحيطات المفتوحة فقد تم رصـــد (متوســـط المدى لظاهرة المد والجزر للمحيطات بالنســـبة لليابســة) والتى تم تسجيلها فى جزر معزولة ـ ووجدت أنها حوالى ٥ر٢ قدم .

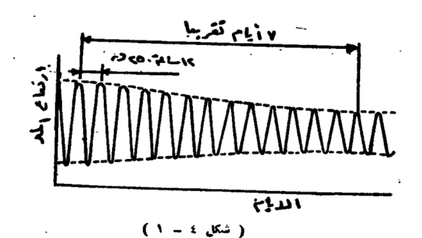
وهذا المدى يزيد كثيرا لمعظـم المحطـــات على طول الشـــواطىء (الســـواحل) القارية نتيجة لتأثر هذا المدى بكل من : شـــــكل Configuration خط الساحل Shore Line وكونتور أرضية (قاع) المحيط .

أما أقصى مدى لهذه الظاهرة فى اليابسة فهو حوالى ٩ بوصة .

واذا لم توجد قوى مؤثرة أخرى سوى قوة الجذب القمرية فان وقت حدوث المستوى العالى للماء (قمة المد) عندما يصبح القمر على خط الزوال (خط الطول) . ونتيجة لقوى المد والجزر المؤثرة الأخرى فان الوقت الحقيقى للمد العالى يختلف عن ولحظة مرور القمر بخط الزوال (خط الطول) بمقـدار يعرف بالفاصـل القمرى "Lunar Interval" وأثر هذا (الفاصل القمر) يتلاشى (يبلغ متوسطه صفر) على المدى الزمنى الطويل ويبلغ متوسط الفاصـــل الزمنى ما بين قيمتين عاليتين متتاليتين لظاهرة المد والجزر ١٢ ساعة ، ٢٥ دقيقة أى نصف متوسط الفاصل الزمنى ما بين « أو جين أو ذروتين "Two Peaks" » للقمر .

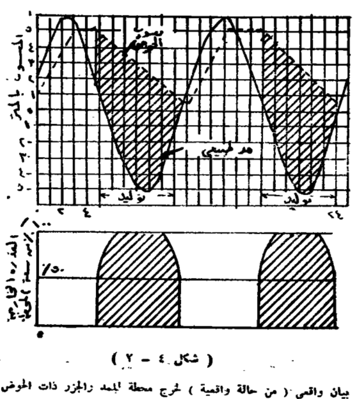
والفارق ما بين الزمن الحقيقى للمد العـالى والزمن المحســـوب (الذى يتم حسابه) من لحظة انتقال القمر غير خط الزوال ـ مؤتلفـــا (متضامنا مع) . الفاصـــل القمرى يعرف بتأسيس أو ترسيخ الميـنـاء "Establishment of tht Port" ويستحصل على قيم « التأسيس أو الترسيخ » بالرصد للموانى المختلفة وتوضع فى جداول المد والجزر . والقيم التى يستحصل عليها لمينائين ـ واللذان يفصل بينهما بضعة أميال قليلة قد تختلف كثيرا نتيجة اختلاف شكل الخط الساحلى ما بين المينائين .

وظاهرة المد والجزر تمثل انفاقا (اهدارا) للطاقة وجزء كبير من هذه الطاقة يأتى من طاقة الحركة Kinetic Energy لدوران الأرض . وهذه تميل الى مراجعة Tends to check دوران الأرض ومن ثم تطيل



(شكل ٤ – ١)

تقلبات المد والجزر (مع بيان الجزر التام والجزر الناقص)



(شكل ٤ – ٢)

بيان واقعي (من حالة واقعية) لخرج محطة المد والجزر ذات الحوض المفرد (الواحد) •

(تمد من طول) اليوم الا أن هذا الأثـر ضعيف جدا لدرجـة يصعب رصـدها ٠

ولقد بذلت جهود كبيرة للاستفادة من طاقة المد والجزر وان كان التقدم فيها مازال محدود نسبيا ٠

توليد الطاقة الكهربائية من المد والجزر

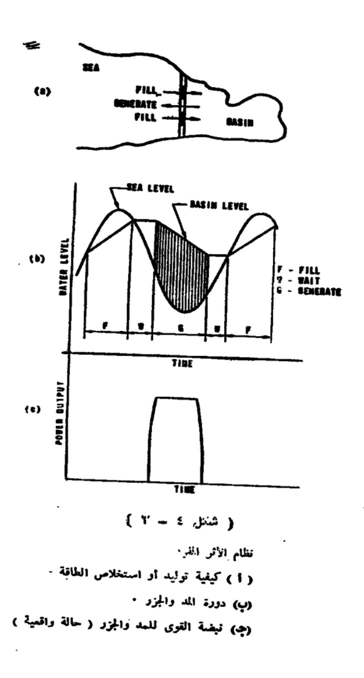
مع زيادة أسعار الوقود الحفرى يزيد الاهتمام أكثر فأكثر بالمصادر غير التقليدية والمتجددة للطاقة ٠ وهذه المصادر غير التقليدية ـ مثـل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المد والجزر لا يمكن مقارنتها مع البدائل التقليدية لتوليد الطاقة نظرا لخصائصها المتفردة ولقد أسفرت دراسات الجدوى لمشروعات محطات توليد الطاقة من المد والجزر أن هذه النوعية من المحطات تتمتع بنوعين من المزايا أو المنفعة هما :

- الاقتصاد فى وقود المحطات الحرارية ٠
- الاقتصاد فى الاستثمارات نتيجة تأجيل انفاقها ٠

وبطبيعة الحال كلما ارتفعت أسعار الوقود كلمـا اكتسبت ميزة الاقتصاد فى الوقودة أهمية أكبر ٠

لذلك فأفضل استغلال (أو سوق) لطـاقة المد والجزر هو ذلك النظام الذى يتضمن نسبة عالية من محطات التوليد التى تعمل بالوقود الحفرى (مازوت ـ غاز طبيعى ـ سولار ـ نافتا ـ فحم) والأماكن التى تكون فى مواقع قريبة من محطـة المد والجزر لتقليل الفاقد فى نقـل هذه الطاقة ٠

ـ ويبين الشكل (٤ ـ ١) كيفية عمل (تشغيل) محطة توليد بالمد والجزر ذات الأثر المفرد Single Effect أثنـاء دورة كاملة ٠ فالتوليد أثناء تصريف المياه من الحوض الى البحر أثناء انحسار المد عن الشاطىء خلال الفترات التى يكون خلالها فرق التوازن (أو السقوط Head) المتاح عند القناطر barrages كافيـا وكما هو مبين بالمساحة المظللة بالشكل (ب) ٠ فاذا أخذنا فى اعتبـارنا خصـائص التوربينات البصلية أو الأنبوبية bulb أو توربينات التدفق المستقيم Straight-Flow فان كتلة Slug أو نبضة القدرة Power Pulse تصبح كما هى مبينة بالشكل (ج) وكما هو الحال فى أكثر مصـادر



(شكل ٤ - ٢)

نظام الأثر المفرد

(أ) كيفية توليد أو استخلاص الطاقة .

(ب) دورة المد والجزر .

(ج) نبضة القوى للمد والجزر (حالة واقعية)

توليد الطاقة الكهربائية شيوعا فان دراسة جدوى استغلال طاقة المد والجذر تتطلب دراسات لبرامج بدائل التوسع فى التوليـد الكهـربى بما فيها تضمين وسائل وتسهيلات جديدة فى الشبكة الكهربائية وحيث أن القدرة الخارجة من محطة المد والجزر تختلف عن تلك الخارجة من أى محطة تقليدية فينبغى أخذ ذلك فى الاعتبار عند « جدولة » انتـاج القدرة الكهربائية • ففى محطة المد والجزر يمكن التنبؤ كاملا ـ ولعدة سـنوات مقـدما ـ بالطاقة الخارجة حيث أنهـا تتبع الدورة القمرية Lunar Cycle وبالتالى تتحرك تتدرجيا بعيدا عن ثم تعود لتكون فى اتجـاه in phase with مع دورة الشمس لذا فان دورة الشمس هى التى تشكل متطلبات الطاقة للمجتمع ففارق المنسوب (الضاغط Head) المستغل فى تنمية قدرة المد والجزر يتغير باستمرار ـ فالقدرة والطاقة التى يمكن استغلالها تتوقف على هذا الفارق (فى المنسوب) المتغير ـ مساحة الحوض basin المسيطر عليه Controlled ـ سعة قنوات التصريف المستخدمة لملء أو تفريغ الحوض ـ سعة وحدات التوليـد ـ وكذلك طريقة التشغيل • فأما سعة التوليد المركبة فتحددها الاعتبارات الاقتصادية أكثر مما يحددها التدفق المتاح وأما سعة قنوات التصريف فيحدد اختيارها امكانية السماح بملء وتفريغ الحوض بهدف الحصول على أكبر طاقة ممكنـة أكثر مما يحـدده الالتزام بأقصى تصريف نوعى (وهذا الأخير هو ما يتبع فى المحطات المائية التقليدية) •

يبين الشكل (٤ ـ ٣) حالة واقعية للقدرة الخارجة لمحطة مد وجزر وتبين المساحة المظللة فى هذا الشكل التوليد أثناء المد والجزر المتغير وبشكل دفع Slugs من الطاقة تحدث بمعدل مرتين لكل دورة مد وجزر • وكما ذكر سابقا فان توليد الطاقة من عملية المد والجزر يتوقف على الدورة ذات الأربعة وعشرين ساعة وخمسين دقيقة وبينما يمكن ـ وفى حدود معينة ـ تشغيل محطات المد والجزر ذات الحوض المفـرد وازدواجية الأثر Single basin, double effect للوفاء باحتياجات الذروة الا أن مثل هذا النظام من شأنه زيادة ـ وبدرجة محسوسة جدا ـ تكلفة انتاج وحدة الطاقة • وكمية الطاقة المولد من محطـات المد والجزر ـ باعتبارها فقط منتجة للطاقة وبدون سعة مؤكدة للقدرة Firm Power فان كمية الطاقة المولدة والتى يمـكن أن يستوعبها النظام الكهربى ـ ترتبط بالامكانيات الذاتيـة للنظـام لاعادة التوقيت retiming فالكمية التى يمكن استيعابها تعتمد على كل من :

ـ حجم النظام الكهربى •

ـ خصائص الأحمال الكهربائية ٠

ـ معدل استجابة وحدات التوليد الأخرى لازاحة أحمالها بفعل المد والجزر ٠

ـ ومعدل سرعة تجاوب الوحدات الأخرى للتشغيل بعد انتهـاء التوليد من محطات المد والجزر ٠

لقد تم استنباط تسهيلات (احتياجات) التوليد المطلوبة لمواجهة الأحمال خلال الفترة المأخوذة في الاعتبار بعد فحص خطط التوليـد البديلة بأخذ ـ وبدون الأخذ ـ في الاعتبـار مشروعات المد والجزر ٠ ومن ثم تطلب الأمر دراسة شمولية لعمل خطط بديلة لتزودنا بخليط (مزيج) واقعى لأنواع وأحجام مهمات (تسهيلات) توليـد الطاقة الكهربائية ثم أجريت المقارنة بين البدائل على أساس « القيمة الحالية » لكل منها وبافتراض تحقيق نفس الدرجة من الغول Reliability والامان Security للنظام بالنسبة لكل بديل ٠

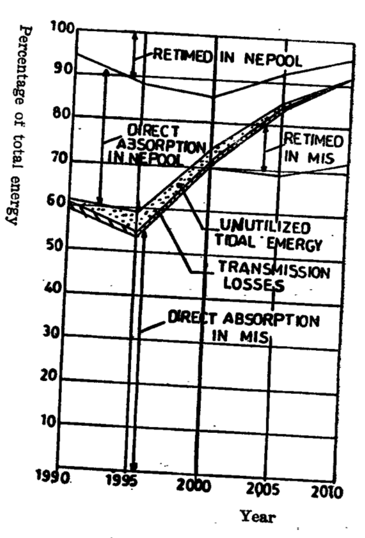
وعلى الرغم من أن أى مشروع بحوضين Two basin يتكلف ـ وبدون شك ـ أكثر من مشروع بحوض واحد Single basin Project لنفس السعة المركبة للمحطة الا أن منافعه الاقتصـادية تزيد عن ثلاثة أضعاف منافع مشروع الحوض الواحد ٠

وكما يبين الشكل (٤ ـ ٥) فان اغلب ـ أو معظم ـ قيمة طاقة المد والجزر فيما يصاحبها من ازاحة displacement أو تأجيل التكلفة العالية للوقود الحفرى ٠ ونظرا لتغير أسعار الوقود ـ وخاصة النفط ـ خلال العقدين الماضيين ـ يفوق التغير المقابل فى استثمارات محطـات المد والجزر لذلك يمكن أن نقول أن مزايا هذه النوعيـة من المحطات ـ شأنها باقى مصادر الطاقة غير التقليدية الأخرى ـ تبدو أكثر وضوحا مع ارتفاع أسعار الوقود الحفرى وخاصة النفط ٠

وجدير بالذكر فان أشهر مشروعات المد والجزر لتوليد الكهرباء فى العالم مشروعان هما :

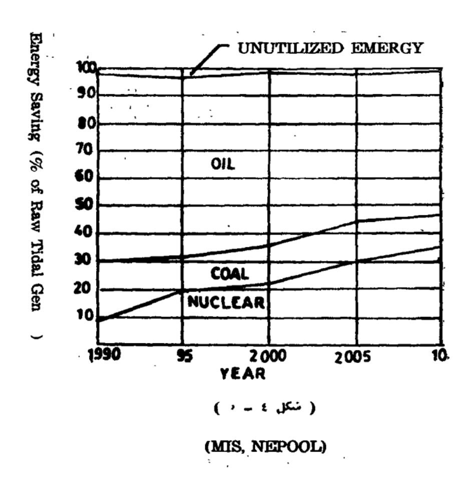
ـ المشروع الفرنسى لمحطات المد والجزر المقـام على نهر رانس Rance على ساحل النورماندى ويتضمن ٢٤ توربين مائى قدره كل منها ١٠ ميجاوات ٠

ـ مشروع خليج فوندى بشرق كندا لانشـاء محطة لتوليد الطاقة الكهربائية من المد والجزر بسعة ٣٣٦٠ ميجاوات ويستهدف ادخالها على



(شكل ٤ – ٤)

(MIS, NEPOOL)



(شكل ٤ ـ ٢)

(MIS, NEPOOL)

الشبكة الموحدة الكندية عام ١٩٩٠ لتوليد طاقة كهربائية سنوية تقدر بحوالى ٣ر١١ تيراوات ساعة ٠

امكانات الاستيعاب الاستاتيكية والديناميكية لطاقة المد والجزر

يبين الشكل (٤ ــ ٦) تتابعات نبضات القدرة خلال أسبوع واحد أخذا فى الاعتبار تغيرات منسوب المد والجزر المبينة بالشكل (٤ ــ ٢) مع بيان منحنى الأحمال للنظام المعنى (تحت الدراسة) وكما هو مبين نرى ــ وكحالة واقعية ــ أن اتســـاع كل نبضـــة يتروواح ما بين ٥ الى ٦ ساعات ٠

سواء أكان ممكنا استيعاب هذه النبضات أم لا ٠٠٠ والى مدى يمكن اســـتيعابها فهذا يتوقف على كل من الخصائص الاســـتاتيكية والديناميكية للمنظومة التى تضم منطقة السوق (التى يســـتفاد بهذه الطاقة داخلها) ٠

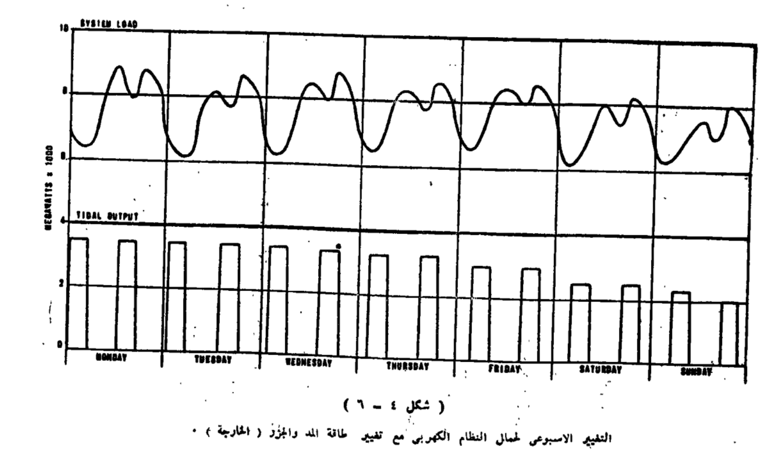
الامكانية الاستاتيكية للاستيعاب :

حيث أن زمن حدوث المد يتقدم ٥٠ (خمسون) دقيقة يوميا لذا فان استيعاب نبضات المد والجزر ينبغى أن يحدث فى نقاط مختلفة من منحنى الأحمال ٠ وفى أى فترة زمنية تساوى لفترة استغراق النبضة (نبضة المد والجزر) فان الامكانيـــة الاستاتيكية لأستيعاب النظام هو قدرته على تخفيض back-off التوليد حتى يمكنه تقبل نبضـــة المد والجزر هذه ٠ والنقطة التى يمكن للتوليد فيهـــا أن يفســـح المجال (الطاقة المد والجزر) تسمى بمنسوب التوليـــد والتشغيل الاجبـــارى "The must-run Level" وهذا الأخير تحدده الاعتبارات التالية :

(أ) التوليد أو التشغيل الاجبارى للمحطات المائية must-run hydro، اللازمة للحفـــاظ على أقل تدفق فى النهـــر و / أو تجنب التفييظ Spilling

(ب) أقل توليـــد لمحطات المازوت أو الفحـــم وهذا يتوقف على الخصائص التشغيلية للمحطة ٠

(جـ) التوليد النووى ــ والذى بشكل عام لا يدخـــل دوريا على أساس يومى Generally not cycled on a daily basis



(شكل ٤ ـ ٦)

التغيير الاسبوعى لحمال النظام الكهربى مع تغيير طاقة المد والجزر (الخارجة) .

ويبين الشكل (٤ ـ ٧) منحنى الأحمال اليومى لنظام كهـربى حالة واقعية وكيف يحور أو يعدل بعد أخذ « نبضات » القدرة المولدة من المد والجزر ·

ويبين الشكل (٤ ـ ٨) كيفية حساب استيعاب طاقة المد والجزر ·

امكانية الاستيعاب الديناميكية

نظرا للقيود الاستاتيكية الســـابق شرحها أعلاه يصــبح لزاما أن تزيح طاقة المد والجزر التوليد من المصادر الحرارية مثـــل الفحـم والمازوت والغاز · وهذه المحطـــات ينبغى أن تكون قادرة على تخفيض القدرة المولدة منها وأن تتقبل التحميل بالمعدلات التى تمليها عليها حقيقة اضافة Superposition of شكل التغير الفجائى Steepness لنبضة القدرة (للمد والجزر) مع التزامن مع تغيرات الأحمال فى النظام · وهذا يمكن التعبير عنها بالمعادلة الرياضية البسيطة

$$\frac{dF}{dt} = \frac{dT}{dt} + \frac{dL}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{MW/min}$$

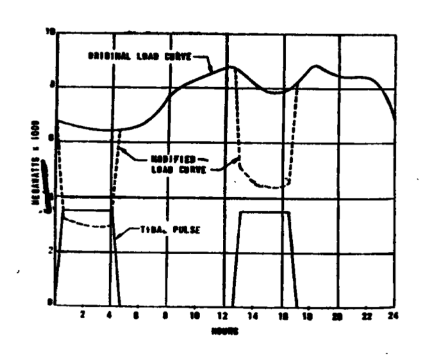
حيث أن $\left(\frac{dT}{dt}\right)$ هى ميل أو Steepness مقدمة front أو ذيل tail نبضة المد والجزر معبرا عنها بـ ميجاوات / دقيقة ·

و $\left(\frac{dL}{dt}\right)$ معدل تقبل المحطات الحرارية الأخرى (الفحم والمازوت والغاز) للأحمال ·

ويبين الشكل (٤ ـ ٧) منحنى الأحمال اليومى ـ لحالة واقعية وهو نظام كهربى كندى ـ وكحقيقة تعديله بعد الأخذ من الاعتبار « نبضات » القدرة ·

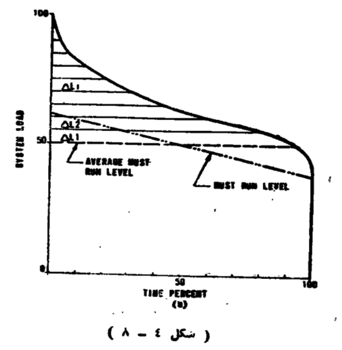
حساب امكانية استيعاب طاقة المد والجزر الخام

كما هو مبين بالشكل (٤ ـ ٦) يمكن تقسيم نبضة المد والجزر الى قطع « توليد » $\Delta G_1, \Delta G_2, \ldots \Delta G_n$ ويبين الشكل (٤ ـ ٨) منحنى استغراق التوليد السنوى من المد والجزر normalized وذلك بتجميع ثم اعادة ترتيب الـ ٧٢٠ نبضة المتتابعة للمد والجزر ·



(شكل ٤ ـ ٧)

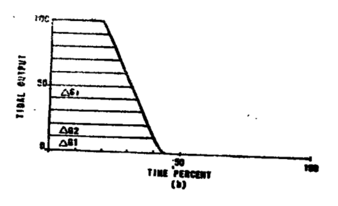
منحنى الأحمال اليومى بعد أن تعدل (تحور) بعد
استيعاب طاقة المد والجزر .



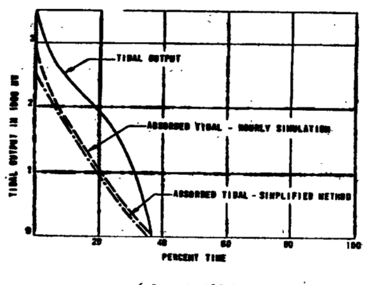
(شكل ٤ ـ ٨)

طريقة حساب استيعاب الطاقة الخام للمد والجزر •

(أ) منحنى الاستغراق السنوى لحمل النظام الكهربى •



(ب) منحنى الاستغراق السنوى للمد والجزر •



(شكل ٤ ـ ٩)

استيعاب طاقة المد والجزر الخام

ـ مقارنة ما بين طريقة نصف احتمالية وطريقة تعتمـــد على المحاكاة ساعة بساعة ·

ولتسهيل العملية على الحاسب الآلى (الالكترونى) لنفرض ان الجزء من منحنى استغراق الحمل والذى يعلو خط التوليد الاجبارى The must run line - بالشكل (أ) يقسم الى قطع Segmnets متساوية الارتفاع بحيث أن :

$$\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L_i \quad \text{— ١}$$

$$\text{and} \quad \Delta L_i = \Delta G_i = \Delta G \quad \text{— ٢}$$

وباعتبار أن ١٠٠٪ من الزمن يعنى ٨٧٦٠ ساعة (عدد الساعات فى السنة) · ولنفرض أن كل من t_{Gi} و t_{Li} تمثل النسبة المئوية لطول فترة (زمن) استغراق ΔL_i . ΔG_i على التوالى ·

فاذا أخذنا فترة استغراق طويلة بدرجة كافية - وليكن سنة كاملة - حتى يكون هنالك عدد كبير من دورات المد والجزر ، وحتى يمكن أن نفترض أن دورات المد والجزر المتباينة الشدة موزعة توزيعا متساويا بالنسبة لمستويات الأحمال المختلفة للنظام (والخطأ الناتج عن هذا الافتراض هو خطأ صغير كما مبين بالشكل (٤ - ٩) ·

فالقطع ΔG_i و ΔG_{i+1} متطابقين ولكن ΔG_i دائما أطول من ΔG_{i+1} · وبالتالى متى تم استيعاب القدرة الخارجة ΔG_i بالحمل ΔL_i وبالتالى تستنفذ طاقة أو امكانية - الحمل ΔL_i - للاستيعاب · ويمكن حساب امكانية النظام للاستيعاب باضافة استيعاب كل توليد ΔG_i الى التحميل ΔL_i المقابل ·

وباستخدام هذه الملاحظات - المشار اليها أعلاه - فان النسبة المئوية للفترة الزمنية التى تستوعب فيها الطاقة لكل ΔG_i هى

$$t_{ai} = \frac{t_{Li} \cdot t_{Gi}}{100} \quad \text{— ٣}$$

واجمالى الطاقة المستوعبة هى

$$e_{at} = \Delta G \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{t_{Li} \cdot t_{Gi}}{100} = \Delta G \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{ai} \quad \text{— ٤}$$

واجمالى الطاقة المولدة هى

$$e_g = \Delta G \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{Gi} \quad \text{— ٥}$$

والجزء المستوعب من الطاقة المولدة يمكن حسابه من المعادلتين الأخرتين ليصبح :

$$e_a = \frac{e_{at}}{e_g} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ai}}{\sum_{i=1}^{n} t_{Gi}} \quad \text{— ٦}$$

دراسة حالة واقعية ـ للمشروع استغلال طاقة المد والجزر بخليج فوندى الكندى

فى هذا الخليج ـ والذى يقع فى المحيط الأطلنطى على الساحل الكندى يصل المد والجزر الى أعلى مدى معروف ـ على مستوى العالم . ولقد شجعت ـ ولحسن الحظ ـ طبوغرافية موقع الخليج على تخطيط استغلال القدرة المحتمل توليدها من هذا الخليج والتى تصل الى بضعة آلاف ميجاوات . وتحدد الموقع فى منطقة تحدها من الغرب مقاطعة نيوبروتسويك New Brunswick وشرقا مقاطعة نوفاسكوتيا Nova Scottia . وفى عام ١٩٧٥ اتفقت المقاطعتان مع كندا على القيام ـ مشتركين بتقييم الجدوى الفنية والاقتصادية للتنمية القدرة المولدة من هذا الخليج فى ضوء التقدم التكنولوجى وكذلك احتمالات الدلالات الاقتصادية لتغير من أوضاع (حالات أو ظرف) الاتاحية لمصادر الطاقة البديلة .

ويخدم هذا المشروع الأحمال الكهربائية فى كل من :

ـ الأحمال المحلية لنظام Maritime Integrated System (MIS) والذى يتضمن عدة مؤسسات فى مقاطعة نيوبروتسويك ـ نوفاسكونيا ـ وجزيرة الأمير ادوارد .

ـ فى حالة الطوارئ يمكن أن تمد مناطق أخرى فى كندا مثل كوبيك والأحمال فى مناطق بشمال الولايات المتحدة الأمريكية .

وسنستعرض هنا شرحا موجزا لبعض الدراسات الهامة التى تمت لاستغلال طاقة المد والجزر بخليج فوندى لتوليد الكهرباء .

أولا : دراسة تحليلية لامكانية استغلال طاقة المد والجزر بخليج فوندى : أظهرت الدراسة التحليلية لمنحنيات الأحمال اليومية بشرق كندا أن أقصى زيادة (تغير بالزيادة) للحمل ـ يبلغ ١٦٧ر٠٪ من ذروة الحمل اليومى كل دقيقة ويحدث هذا ما بين السادسة والثامنة صباحا . أما أقصى نقصان فى الحمل فيبلغ حوالى ١٣٣ر٠٪ من ذروة الحمل اليومى لكل دقيقة ويحدث تقريبا فى منتصف الليل . وهذا يقابل معدل تغير فى الحمل مقداره ١٦ر٧ م . و/ دقيقة بالنسبة لمنظومة حجمها ٠٠٠ر١٠ م.و. وتشير الدراسات الخاصة لايجاد أفضل حجم لمحطات المد والجزر أن معدل الخارج من هذه المحطة لا يتجاوز ٥٠ م.و / دقيقة

بالنسبة لمحطة سعتها ٣٠٠٠ م٠و٠ وكذلك لايزيد عن ٢٥ م٠و٠ / دقيقة بالنسبة للمحطة ذات سعة ١٠٠٠ م٠و٠ وذلك لكل من مقدمة ومؤخرة النبضة (نبضة المد والجزر) ٠ وأعلى معدلات تغير تحدث على حمـــل متنامي (متزايد) للنظام مع نقصان Falling أو انخفاض فى خـرج محطة المد والجزر لينتج حوالى ٦٦٫٧ م٠و / دقيقة للمنظومة ذات حجم ١٠٫٠٠٠ م٠و مع محطة مد وجزر سعتها ٣٠٠٠ م٠و٠

والمحطات الحرارية القائمة فعلا داخل النظام الكهربى ــ فى هذا المثال ــ لها امكانية متابعة للأحمال Load-Following Capability ٥٪ (من معدلها المقنن) فى الدقيقة وذلك للأحمـــال الأعلى (الأكبر) من أقل تحميل مسموح به ٠ واشارت الدراســـة الى أن وحدات التشغيل الدورى (وحدات الذروة) Cycling Plants ــ المزمع عملها مستقبلا (وقتذاك) قد يكون لها امكانية متابعة أحمال بمعدل ١٠٪ (من معدلها المقنن) فى الدقيقة ٠ كذلك بشرط أن يكون التحميل أعلى من أقل تحميل مسموح به ٠ وبالنسبة لمجموعة من المحطات التى تعمل سويا وكلها تحت السيطرة jointly-Controlled plants فان امكانية متابعتها للأحمال ستكون أقل من امكانية وحدة منفردة ٠ لذلك فقد افترضت الدراسة هذا الرقم ٣٪ (من اجمالى المعدل المقنن للوحدات الدورية المتصلة بالنظام) لكل دقيقة ٠ بذلك يتطلب استيعاب نبضة المد والجزر من محطة (مد وجزر) سعتها ٣٠٠٠ م٠و ــ محطات دورية تربط بشبكة النظام اجمالى سعتها يعادل ٦٦٫٧/٠٫٠٣ = ٢٢٢٥ م٠و٠ وعلى الرغم من أن «نبضة المد والجزر الحقيقة يمكن أن تكون أقل من هذه القيمة بدرجة ملحوظة ٠ وفى الأوقات التى تكون فيها امكانية الاستيعاب الاستاتيكية أقل من هذه القيمة يجب تخفيض معدلات الخارج Output gradients من محطات المد والجزر لتتوافق (أو تواكب) المتطلبات الديناميكية والتى تتمخض عن قدر بسيط من الفاقد فى الطاقة ٠

هنالك حل بديل آخر لاستيعاب طاقة المد والجزر من خلال محطات الضخ والتخزين المائى وأجريت دراسات تفصيلية باستخدام الحاسبات الالكترونية ــ على النظام المشـــار اليه بينت أن « المحددات أو القيود الديناميكية » قد تؤدى ــ أو تنتج عنها ــ فقد كمية ضئيلة جدا من طاقة المد والجزر الخام ٠

ثانيا : دراسة أثر ادخال وحدات التوليد الكهربائية من المد والجزر فى خطة التوسع فى التوليد الكهربى فى كندا :

فى دراسة أجريت عن « أثر ادخال وحدات المد والجزر » في مزيج التوليد لتخطيطا لتوسع فى نظم التوليد الكهربى بكندا صممت برامج تقوم بأداء الوظائف التالية : ـ

ـ تقوم نظم المحاكاة للكمبيوتر المصممة بتوزيع الأحمال dispatching بين وحدات التوليد بدأ من المصادر ـ غير الحرارية ـ مثل المد والجزر ـ المحطات المائية التقليدية ـ محطات الضخ والتخزين المائية وذلك لمقابلة الأحمال ساعة بساعة ٠ أخذا فى الاعتبار المحددات ـ (القيود) المفروضة مثل الوحدات التى ينبغى عدم توقفها أو أدنى أحمال ممكنة على وحدات معينة (مثل الوحدات المائية غير المسيطر عليها Uncontrollable Hydro ـ الوحدات النووية وبعض الوحدات الحرارية التقليدية ٠

ـ استغلال طاقة المد والجزر المولدة الى أقصى درجة ممكنة ٠ أما ما لم يمكن استيعابه منها فيستغل فى أحمال أخرى ـ غير متصلة (مرتبطة) بالنظام الكهربى (أحمال محلية) ٠

ـ الأحمال ـ ساعة بساعة ـ المتبقية بعد ذلك (أى بعد استيفاء الوحدات غير الحرارية) ترتب تصاعديا لتكون منحنيات استغراق الحمل Load Duration Curves (LDC)

ـ اختيار أفضل مزيج من الوحدات النووية والحرارية الدورية Cyclic Thermal على أساس من التكلفة (الرأسمالية) والتشغيل مع اختيار أفضل حجم لوحدات الضخ والتخزين بطريقة تحديدية Deterministic (وليست بطريقة الاحتمالات) تكرارية ٠ وهنالك برنامج مساعد لتحديد وحدات الذروة التى ينبغى اضافتها ـ أخذا فى الاعتبار معدلات الخروج الاضطرارى لوحدات التوليد الحرارية (طريقة احتمال فقد الحمل) من كل ذلك يمكن للبرنامج حساب التكلفة الاجمالية السنوية للتوليد الحرارى ثم تقارن البدائل على أساس التكلفة باستخدام ـ وبدون استخدام ـ طريقة التوليد بالمد والجزر ٠

وفى كندا أظهرت الدراسات ـ أنه يمكن ادخال وحدات المد والجزر بدأ من عام ١٩٩٠ ـ وتبين الجدوال (١) ، (٢) ، نتائج دراسة لخطط التوسع فى التوليد الكهربى من عام ١٩٩٠ حتى عام ٢٠١٠ لنظامين كنديين أخذا فى الاعتبار اضافة ـ وبدون اضافة ـ وحدات للمد والجزر ٠

جدول (١) خطة التوسع فى التوليد لنظام « مارى تايم » والمتكامل من عام ١٩٩٠ حتى عام ٢٠١٠

عام	خطة التوسع بدون محطات مد وجزر (م.و) نووى	حفرى	توربينات غازية	ضخ وتخزين	خطة التوسع مع ادخال محطات المد والجزر (م.و) نووى	حفرى	ت. غازية	ضخ وتخزين	الفروق التراكية (م.و) نووى	تخزين	ت. غازية	تخزين	الصافى
١٩٩٠	٦٣٥	–	–	–	٦٣٥	–	–	–	–	–	–	–	صفر
١٩٩١	٧٥٠	–	–	–	٧٥٠	–	–	–	–	–	–	–	صفر
١٩٩٢	٧٥٠	–	٢٠٠	–	–	–	٣٠٠	–	٧٥٠	–	-١٠٠	–	٦٥٠
١٩٩٣	٧٥٠	–	١٠٠	–	٧٥٠	–	١٠٠	–	٧٥٠	–	-١٠٠	–	٦٥٠
١٩٩٤	–	–	٢٠٠	–	٧٥٠	–	٢٠٠	–	صفر	–	-١٠٠	–	-١٠٠
١٩٩٥	٧٥٠	–	١٠٠	–	–	–	٣٠٠	–	٧٥٠	–	-٣٠٠	–	٤٥٠
١٩٩٦	٧٥٠	–	١٠٠	–	٧٥٠	–	٢٠٠	–	٧٥٠	–	-٣٠٠	–	٤٥٠
١٩٩٧	–	٩٥٠	١٠٠	–	٧٥٠	–	٢٠٠	–	صفر	٩٥٠	-٤٠٠	–	٥٥٠
١٩٩٨	٧٥٠	–	١٠٠	–	–	٤٧٥	٣٠٠	–	٧٥٠	٤٧٥	-٦٠٠	–	٦٢٥
١٩٩٩		٤٧٥	١٠٠		٧٥٠		٢٠٠	–	صفر	٩٥٠	-٧٠٠	–	٢٥٠
٢٠٠٠	٧٥٠	–	٢٠٠	–	٧٥٠	–	٢٠٠	–	صفر	٩٥٠	-٨٠٠	–	١٥٠
٢٠٠١	١٢٥٠	–		٣٠٠	١٢٥٠	–	–	٣٠٠	صفر	٩٥٠	-٨٠٠	–	١٥٠
٢٠٠٢	١٢٥٠	–	١٠٠	٣٠٠	١٢٥٠	–	–	٣٠٠	صفر	٩٥٠	-٧٠٠	–	٣٥٠

تابع جدول (١) :

عام	خطة التوسع بدون محطات مد وجزر (م.و)				خطة التوسع مع ادخال محطات المد والجزر (م.و)								
	نووى	حفرى	ت. غازية	ضخ وتخزين	نووى	حفرى	ت. غازية	ضخ وتخزين	نووى	حفرى	غازية		الصافى
٢٠٠٣	١٢٥٠	–	١٠٠	٣٠٠	١٢٥٠	–	–	٣٠٠	صفر	٩٥٠	–٦٠٠	–	٣٥٠
٢٠٠٤	–	–	٢٠٠	٤٠٠	–	–	١٠٠	٤٠٠	صفر	٩٥٠	–٥٠٠	–	٤٥٠
٢٠٠٥	١٢٥٠	–	–	٣٠٠	١٢٥٠	–	–	٣٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠	–	٥٥٠
٢٠٠٦	١٢٥٠	–	٣٠٠	٢٠٠	١٢٥٠	–	٢٠٠	٢٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠	–	٥٥٠
٢٠٠٧	١٢٥٠	–	٢٠٠	٢٠٠	١٢٥٠	–	٣٠٠	٢٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠		٥٥٠
٢٠٠٨	١٢٥٠	–	٣٠٠	٢٠٠	١٢٥٠	–	٤٠٠	٢٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠		٥٥٠
٢٠٠٩	١٢٥٠	–	٤٠٠	٢٠٠	١٢٥٠	–	٣٠٠	٢٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠		٥٥٠
٢٠١٠	١٢٠٠	–	٥٠٠	٢٠٠	١٢٥٠	–	٥٠٠	٢٠٠	صفر	٩٥٠	–٤٠٠		٥٥٠

ــ من خانة (عمود) الفروق التراكمية بالجدول (١) يمكن أن نرى أن ادخال محطة مد وجزر سعتها ٣٣٦٠ م ٠ و ٠ عام ١٩٩٠ له تأثير واضح على بدائل خطة التوسع فى التوليد لنظام « مارى تايم » (MIS) أما الأثر « قصير المدى » هو تأجيل أو ارجاء التوليد النووى ولكن مع اضافة توربينات غازية أكثر ٠ والأثر « بعيد المدى » (عام ٢٠٠٥) هو « حذف » ٩٥٠ م٠ و٠ ومن المحطات البخارية التى تعمل بالوقود الحفرى ولكن مع اضافة حوالى ٤٠٠م ٠ و ٠ من التوربينات الغازية ٠ أى أن التأثير النهائى (الصافى) هو خفض سعات التوليد المطلوبة بمقدار ٥٥٠ م ٠ و ٠

ــ وبذلك يمكن أن نستخلص نتيجة هامة من من التحليل السابق وهو أن تشغيل محطات مد وجزر ــ سعتها ٣٣٦٠ م٠و٠ بأسلوب (أورجيم) توليد الطاقة فقط يعادل اضافة ٥٥٠ م٠و٠ فقط ــ (أى ١٥٪ ــ من سعتها) الى النظام (أو الشبكة الكهربائية) ٠

ــ ومن خانة (عمود) الفروق التراكمية للجدول (٢) نرى أنه من الواضح أن التوليد الناتج من محطات المد والجزر له تأثير بسيط نسبيا على بدائل خطة التوسيع فى التوليد للشبكة الموحدة لولاية نيوأنجلاند NE POOL فيوجد فقط أثر قصير المدى لتأجيل بعض التوليد ويتلاشى الأثر لينعدم تماما بعد عام ٢٠٠٠ ٠ وهذه نتيجة معقولة حيث أنه فى السنوات الأولى التى تلى تركيب محطات المد والجزر فلا يزال نظام « مارى تايم » صغير نسبيا وبالتالى فان كمية التوليد لا يستوعبها نظام NE POOL (نيوأنجلاند) وينمو نظام « مارى تايم » مع الوقت تنمو معه طاقته لاستيعاب توليد المد والجزر ومن ثم يتناقص توليد المد والجزر « غير المستوعب » Unabsorbed فى شبكة نيوأنجلاند بشكل ملحوظ ٠

وبالنسبة لخطوط الربط الكهربائية فقد تم دراسة بدائل عديدة لانشاء خطوط ربط بين نظامى « مارى تايم » وشبكة « نيوأنجلاند » بهدف الوصول الى أفضل قيمة لطاقة المد والجزر التى يمكن نقلها مع تكافئها أو تناسبها مع تكلفة معدات نقل الطاقة وأسفرت الدراسة أن انشاء خط ربط من دائرة واحدة جهد ٧٦٥ ك ٠ ف ٠ وسعة نقل ٢٥٠٠ م ٠ و ٠ بين النظامين هو أفضل الخيارات بالنسبة لمحطة المد والجزر بسعة ٣٣٦٠ م ٠ و ٠

وتأسيسا على سعة خط الربط المختارة (٢٥٠٠ م ٠ و ٠) توزع الطاقة المولدة من محطة المد والجزر والتى تبلغ ١١٣٠٠ ميجاوات ساعة

جدول (٢) خطة التوسيع فى التوليد للشبكة الموحدة لولاية « نيو انجلاند» الكندية من عام ١٩٩٠ حتى عام ٢٠١٠

عام	خطة التوسع بدون محطات مد وجزر (م.و)				خطة التوسع مع ادخال محطات المد والجزر (م.و)				الفروق التراكمية (م.و)				
	نووى	حفرى	ت.غ غازية	ضخ وتخزين	نووى	حفرى	ت.غ غازية	ضخ وتخزين	نووى	حفرى	ت.غ غازية	تخزين	الصافى
١٩٩٠	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	–	٥٠٠	–	–	٢٠٠	–	٢٠٠
١٩٩١	٣٠٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	–	٥٠٠	١٥٠٠	–	[illegible]	–	١٩٠٠
١٩٩٢	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	٤٠٠	–	١٧٠٠
١٩٩٣	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	٣٠٠٠	–	–	٥٠٠	صفر	–	٦٠٠	–	٦٠٠
١٩٩٤	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	صفر	–	٦٠٠	–	٦٠٠
١٩٩٥	١٥٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	صفر	–	٦٠٠	–	٦٠٠
١٩٩٦	٣٠٠٠	–	–	٥٠٠	٣٠٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	صفر	–	٤٠٠	–	٤٠٠
١٩٩٧	١٥٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٦٠٠
١٩٩٨	٣٠٠٠	–	–	٥٠٠	٣٠٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٣٠٠
١٩٩٩	٣٠٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	٣٠٠٠	–	٦٠٠	٥٠٠	صفر	–	٦٠٠	–	١٣٠٠
٢٠٠٠	١٥٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	٣٠٠٠	–	٢٠٠	٥٠٠	١٥٠٠	–	صفر	–	صفر
٢٠٠١	٣٠٠٠	–	٤٠٠	٦٠٠	٣٠٠٠	–	٤٠٠	٥٠٠	صفر	–	صفر	–	صفر
٢٠٠٢	١٧٥٠	–	٦٠٠	٦٠٠	١٧٥٠	–	٤٠٠	٦٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٢٠٠
٢٠٠٣	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٦٠٠	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٦٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٢٠٠
٢٠٠٤	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٩٠٠	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٦٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٢٠٠
٢٠٠٥	١٧٥٠	–	٨٠٠	٦٠٠	١٧٥٠	–	٨٠٠	٦٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٢٠٠
٢٠٠٦	٣٥٠٠	–	٤٠٠	[illegible]	[illegible]	–	٦٠٠	٦٠٠	صفر	–	صفر	–	صفر
٢٠٠٧	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٦٠٠	٣٥٠٠	–	٦٠٠	٩٠٠	صفر	–	صفر	–	صفر
٢٠٠٨	٣٥٠٠	–	٨٠٠	٩٠٠	٣٥٠٠	–	٨٠٠	٩٠٠	صفر	–	صفر	–	صفر
٢٠٠٩	٣٥٠٠	–	٨٠٠	١٠٠٠	٣٥٠٠	–	٦٠٠	١٠٠٠	صفر	–	٢٠٠	–	٢٠٠
٢٠١٠	٣٥٠٠	–	٨٠٠	١٠٠٠	٣٥٠٠	–	١٠٠٠	١٠٠٠	صفر	–	صفر	–	صفر

سنويا لتخدم النظامين الكهربائيتن ويبين الشكل (٤ ــ ٤) الجزء من طاقة المد والجزر (النسبة المئوية من الاجمالى السنوى للمحطة) والتى يستوعبها كل من النظامين الكهربائيين · كما يبين الشكل الفاقد فى خط الربط ــ والمصاحب لعملية نقل الطاقة · وطاقة المد والجزر غير المستغلة نتيجة « حدود نقل القدرة للخط » Transmission Limitations

واذا فحصنا الشكل (٤ ــ ٤) نجد أن حوالى ٥٩٪ من طاقة المد والجزر يمكن استيعابها مباشرة خلال نظام «مارى تايم» "MIS" بينما نجد أن ٣٩٪ منها يمكن استيعابها ــ أما مباشرة أو بتخزينها لاستخدامها بعد ذلك retimed فى شبكة نيوأنجلاند NEPOOL · وتظل هذه القيم بدون تغيير حتى عام ١٩٩٥ · بعد ذلك تتحسن طاقة الاستيعاب لنظام « مارى تايم MIS" » بشكل واضح حتى عام ٢٠١٠ لتصبح حوالى ٩١٪ من اجمالى الطاقة المولدة بالمحطة ·

ومن الطبيعى أن تؤثر طاقة المد والجزر التى تستوعبها نظم الربط المشار اليها بأن تحل محل قدرا من الطاقة فى المحطات الحرارية ومن ثم فهى تقلل من الطاقة المنتجة داخل هذه الأخيرة ومن ثم يمكن تقييم الاقتصاد فى النفقات نتيجة ربط محطات المد والجزر بأى نظام بقيمة الاقتصاد (التوفير) فى كمية ونوع الطاقة الحرارية التى حلت محلها · وهذا ما يبينه لنا الشكل (٤ ــ ٥) معبرا عنه بالنسبة المئوية للطاقة الخارجة من محطات المد والجزر والتى قدرت بـ ١١٣٠٠ ج · و · س · وهذا الاقتصاد فى نفقات التوليد هو الذى يوازن مع استثمارات المحطة لتقييم الجدوى الاقتصادية من انشاء هذه المحطات ·

وبفحص الشكل (٤ ــ ٥) يتبين لنا أنه بحلول عام ١٩٩٠ ــ وهو العام المتوقع لبدء التشغيل التجارى لهذه المحطة ــ فان ٧٠٪ من الطاقة التى سوف تحل محلها محطة المد والجزر هى طاقة مولدة من محطات تعمل بالمازوت و ٢٢٪ منها من محطات تعمل بالفحم و ٨٪ منها محطات تعمل بالوقود النووى · وذلك بالنسبة للشبكة المشتركة (الموحدة) ــ لنظامى « مارى تايم » (MIS) ونيوأنجلاند (NEPOOL) ونظرا لتركيز برنامج التوسع على المحطات النووية لتوليد الكهرباء نرى أنه ــ فى الشكل ــ أن هذه النسب سوف تتغير عام ٢٠١٠ لتصبح ٥٢٪ من المحطات التى تعمل بالمازوت ، ٣٥٪ من المحطات التى تعمل بالمازوت ، ١٣٪ من المحطات التى تعمل بالفحم ·

الخلاصـــة

القيمة الاقتصادية لمحطات توليد الطاقة من المد والجزر يمكن قياسها بالوفر (الاقتصاد) ـ مقيما بالدولار مثلا ـ في مهمات توليد الطاقة سواء نتيجة حذف محطات من الخطة أو تاجيل انفاق استثمارات لانشاء محطات حرارية . وهذه القيمة الاقتصادية تعتبر منفعة ـ تقارن بتكلفة محطات المد والجزر ـ شاملة استثمارات المحطة نفسها + تكاليف شبكة الربط الكهربائية .

وكما ذكرنا آنفا فان أفضل استغلال (أو سوق لاستغلال) لطاقة المد والجزر هو ذلك النظام الذى يتضمن نسبة عالية من محطات التوليد الكهربائية التى تعمل بالوقود الحفرى مع استغلال هذه الطاقة فى المواقع القريبة من المحطة بهدف تقليل الفاقد فى نقل الطاقة الكهربائية المولدة .

ولكن اذا كانت سعة محطة المد والجزر كبيرة فان القيمة الحدية Marginal لطاقة المد والجزر بالنسبة للسوق الأول (الأفضل) تبدأ فى الانخفاض نظرا لأن طاقة المد والجزر تبدأ فى ازاحة طاقة تعتبر رخيصة نسبيا ــ وهى الطاقة النووية ــ أو قد لا يستطيع السوق الاستيعاب كاملا لهذه الطاقة لظروف أو لوجود محددات فنية . واذا حدث ذلك فيمكن تحسين الاقتصاديات الشاملة (أو الكلية) لطاقة المد والجزر بتقديم (ادخال) سوق ثانوى وأحيانا سوق ثالث . والفارق فى القيم الحدية المقابلة لطاقة المد والجزر يمكن ــ وهذا يتوقف على تكلفة نقل الطاقة بين السوق الأصلى (الأول) والسوق الثانوى ــ أن تجب تكلفة نقل الطاقة ومن ثم يزيد الميزة الاقتصادية العامة للمشروع . اذن يوجد دائما مستوى معين من نقل الطاقة والذى يحقق أكبر اقتصاد عام للنظام نتيجة استغلال طاقة المد والجزر ومن ثم فالحل المثالى هو استخدام طرق التفضيل Optimization لتحديد طاقة المد والجزر ما بين السوق الأصلى والثانوى . الا أن هذه المشكلة معقدة جدا ويصعب أخذها فى الاعتبار من وجهة النظر العملية . الا أن هنالك وسيلة أبسط من تكنيك التفضيل Optimization وهو بأن يعطى السوق الأصلى الأولوية (الأفضلية للاستيعاب المباشر لطاقة المد والجزر) . أما ازاحة التوليد النووى (مثلا) فهو اجراء تمليه المقدرة أو الامكانيات للوحدات النووية من أجل تنظيم القدرة الخارجة منها . فبتغيير التوليد النووى الضرورى must-run nuclear regulation المفترض نحصل على توزيعات مختلفة لطاقة المد والجزر بين الأسواق (الأصلية والثانوية) .

ويمكن زيادة استغلال هذه الطاقة (طاقة المد والجزر) داخل حدود أحد الأسواق ـ باستخدام وسائل التخزين ٠

ـ كذلك بتغيير سعة ـ أو قدرة ـ نقل الطاقة ما بين الأسواق ـ وكذا كمية التخزين فى السوق الأصلى ـ يمكن التوصل الى أفضل توليفة لسعتى التخزين والنقل ٠

ـ يمكن ادخال سوق ثالث ـ فى عملية التحليل ـ اذا كانت الطاقة المتبقية ـ ولم يمكن استغلالها فى أى من السوق الأصلى أو الثانوى ـ ذات قدر كبير ٠

الفصل الخامس

الطاقة الحرارية المختزنة بمياه المحيطات

حيث أن ميـاه البحار والمحيطات تغطى أكثر من ٧٠٪ من سـطح كوكب الأرض فمن ثم فهى تقوم بتجميع وتخزين كمية هائلة من الطاقة الشمسية • وتقوم هذه الطاقة الشمسية بتسخين المياه السطحية فى المناطق الحارة (الاستوائيـة) وكذلك تذيب الثلوج المحيطة بكل من القطب الشمالى والجنوبى لتؤدى الى خلق تيارات محيطية (مائية) باردة فى أعماق المحيط والتى تتدفق أسفل الطبقات العليا الدافئة •

من هنا نشأت فكرة اسـتغلال التباين الحرارى بين طبقة الميـاه السطحية الدافئة والطبقة العميقة الباردة لتوليد طـاقة كهربائيـة من محطات أطلـق عليهـا « محطات تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات » Ocean Thermal Energy Conversion - OTEC

وفى محطات تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات OTEC يستخدم سائل ــ مثل الأمونيا ــ والذى له درجة غليان منخفضة ــ كوسيط يقوم بتسخينه (أى سائل الأمونيا) بدرجة الغليان المياه السطحية الدافئة ومن ثم تحويله الى غاز عند ضغط عال بدرجة تكفى لادارة توربين لتوليد الكهرباء • وبعد مرور هذا الغاز فى التوربين يبرد ويكثف بفعل المياه العميقة الباردة •

وتبنى محطات تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات OTEC على أرضية عائمة كبيرة تمتد لبضعة المئات من الأقدام داخل المياه • وتقوم كابلات القوى الكهربائية البحرية بنقل الطاقة الكهربائية المولدة لاستهلاكهـا داخل مواقع توليدها لانتاج أنواع من الوقود أو المنتجات الكيماوية مثل الهيدروجين ــ الميثانول والامونيا ــ لاستخدامها على السواحل •

وسائل استخلاص الطاقة الحرارية بمياه المحيطات

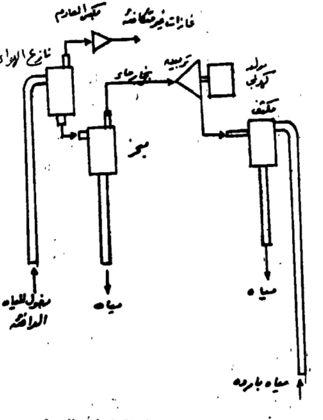
لتحويل الفارق في درجات الحرارة بين طبقات مياه المحيط الى طاقة كهربائية تغذى المياه الدافئة في المنسوب العالى الى غلاية . بينما تغذى المياه الباردة نسبيا في المنسوب المنخفض الى مكثف (Condenser) ويضخ مائع وسيط مناسب (Working Fluid) مثل الامونيا من المكثف الى الغلاية ويسخن بالماء الدافىء الداخل ، ومن ثم تخرج الامونيا في حالة بخارية تحت ضغط عال الى التوربين (Turbine) ثم تكمل الدائرة الى المكثف بواحدة من الطرق الآتية :

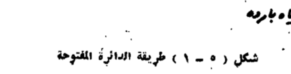
١ ــ طريقة الدائرة المفتوحة : The Open Cycle Thermal System

وفي هذه الطريقة يستخدم ماء البحر (أو المحيط) نفسه كمائع وسيط Working Fluid ويبخر هذا الماء في مبخر (Evaporator) يعمل تحت تفريغ جزئي ويمرر هذا البخار ــ وهو تحت ضغط منخفض ــ خلال التوربين حيث تتحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية كما هو مبين بالشكل (٥ ــ ١) ثم يتكاثف البخار ولا يعود الى المبخر كما في حالة الدائرة المقفلة . وأكبر عيوب طريقة الدائرة المفتوحة هو أنها تحتاج الى تربينات ذات حجم كبير جدا (نظرا للضغط المنخفض للبخار) وأنها تحتاج الى نازعات للهواء والغازات (deaerators) للتخلص من الغازات المذابة .

٢ ــ طريقة الدائرة المقفلة The Cloused Cycle Thermal System

في هذه الطريقة المطلوب هو نقل كميات كبيرة من الحرارة مع تدريجات طفيفة في درجة الحرارة (Low Temperature Difference) حيث تدعو الحاجة الى استخدام مبادلات حرارية ضخمة (شكل ٥ ــ ٢) . وبينما تعمل المبادلات الحرارية التقليدية بمعامل نقل حرارى كلى . Overall heat transfer Coefficient يتراوح بين ١٧٠٠ ــ ٢٣٠٠ وات درجة حرارة مئوية . كم^{٢} . فان المستهدف في هذا المشروع هو الوصول الى ضعف هذه القيمة على الأقل . وقد تم فعلا تصميم مبادلات حرارية وهذه المبادلات الحرارية اما أن تأخذ (الشكل ٣) وهي النوع (Shell and Tube) أو تأخذ (الشكل ٤) على هيئة الواح ذات زعانف (Plate type) . وعلى الرغم من أن سائل الامونيا هو أفضل الموائع للاستخدام في الوقت الحالى على الأقل فان امكانية استخدام البوليثيلن Polythelene او الهالوكربون Halocarbon لا تزال تحت الدراسة .





شكل (٥ - ١) طريقة الدائرة المفتوحة

شكل (٥ - ٢) : طريقة الدائرة المقفلة

الدراسات الخاصة بهذه التقنية

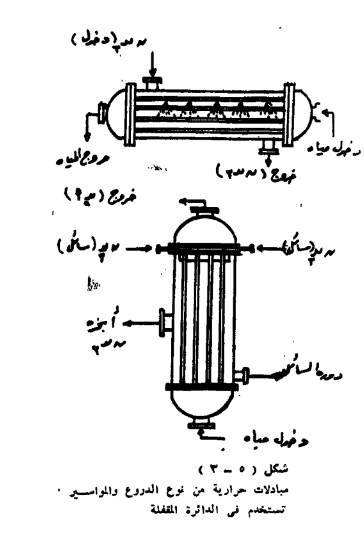
أجريت تجارب (أوائل السبعينيات) ـ لاختبار نظم التوليد سواء التصميمات أو الجودة ٠ وكشفت هذه الاختبارات عن مشاكل تتعلق بالمواد التى تتآكل أو الحشف البحرى نتيجة الكائنات البحرية الحية biofouling (والتى تسد أو تعوق المواسير الغاطسة تحت الماء) الا أن الاستمرار فى البحوث سيؤدى حتما الى تحسين الجودة بالنسبة للتصميمات المتوقعة لمحطات OTEC وبالتالى سوف تؤدى الى استخدام هذه التقنية فى توليد الطاقة خلال القرن القادم باذن الله ٠

ولقد أشارت الدراسات الأولية والتى أجريت فى الولايات المتحدة الأمريكية الى أن الطاقة الحرارية المختزنة بين طبقات المياه المختلفة Thermal Gradient Energy فى مياه المحيطات التى تمر فى حدودها الدولية بحوالى ٢٠٠ بليون وات لكل ساعة (200 GW) ويستهدف البرنامج الفيدرالى المسمى OTEC لاستغلال هذا التدرج فى المستوى الحرارى بين طبقات المياه بدأ من قاع المحيطات لانشاء محطات لتحويل هذه الطاقة الشمسية المختزنة كطاقة حرارية فى المحيطات الى طاقة كهربائية دائمة ٠ وبينت نتائج الدراسات الأولية الجدوى الاقتصادية الى أنه فى حالة استمرار ارتفاع أسعار البترول بمعدل أسرع ـ لحد ما ـ من معدل التضخم فانه فى بداية التسعينيات يمكن انشاء محطة كهربائية بقدرة ٢٥٠ ميجاوات فى جزر بورتريكو وتكون تكاليفها أقل من انشاء محطة مماثلة تعمل بالنفط السائل ٠

وأساس هذا التحفظ يرجع الى أن عملية تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات OTEC كانت وقتذاك تعتبر غير كفء بالمرة ـ حيث كانت تبلغ ربما ١٠٪ فقط أى عشر كفاءة المحطات الحرارية التقليدية ٠ ولنضرب مثلا على ذلك ٠

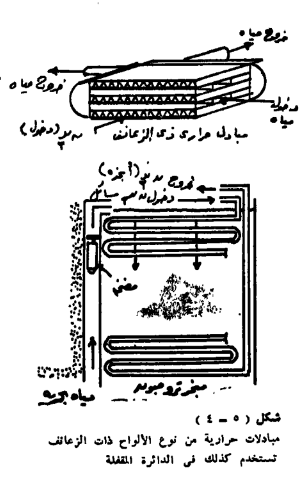
ـ للحصول على قدرة ١٠٠٠ ميجاوات من محطة OTEC فاننا نحتاج ـ بالتقنية التى كانت متاحة فى السبعينيات الى ما يتراوح من ٣٠ الى ٦٠ ألف فدا نمن سطح المحيط علاوة على الحاجة الى حجم هائل للتوربين البخارى ومهماته الملحقة ٠

هذا الى جانب مشاكل تآكل الأنابيب (أو المواسير) ونمو الكائنات البحرية وتكاثرها داخل المعدات اضافة الى العواصف الاستوائية Tropical Storms



شكل (٥ ــ ٣)

مبادلات حرارية من نوع الدروع والمواسير ، تستخدم فى الدائرة المقفلة



شكل (٥ ــ ٤)

مبادلات حرارية من نوع الألواح ذات الزعانف تستخدم كذلك فى الدائرة المقفلة

الاختيارات التى طرحت أمام البرنامج الأمريكى لتطوير هذه التقنية

أمام البرنامج OTEC اختياران أساسيان لاستغلال هـذه الطاقة وهمـــا :

الأول : هو مشروع تحويل هذه الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية ونقلها الى الشاطىء ٠

الثانى : وهو مشروع انشاء صناعات تعتمد على الاستغلال المباشر للطاقة الحرارية مثل صناعات الأمونيا والهيدروجين والألومونيوم ٠ وفى حالة الاختيار الأول فانه يتطلب استخدام كابلات كهربائية بحرية لنقل الطاقة الكهربائية من مواقع انتاجها الى مواقع الاســتهلاك على اليابسة بينما تستخدم الناقلات البحرية لنقل المنتجات فى حالة الاختيار الثانى ٠ وعلى الرغم من كثرة المصاعب التى تواجه حالة اختيار البديل الأول الا أن الدراسات تركزت على هذا البديل لفوائده العامة ٠

الاختيار الأول : استخلاص الطاقة الحرارية وتحويلها الى طاقة كهربائية :

وقع عبء ادارة وتنظيم العمل فى هذا البرنامج على وكالة الطاقة الأمريكية واشترك فى تنفيذه وكالات أخرى فيدرالية وساهمت فيه وزارات التجارة والبحرية اضافة الى عقود أخرى أبرمت مع مؤسسات صناعية وعلمية مثل معامل لورنس بركلى وأوك ريدج ومعهد بحوث الطاقة الشمسية التابع لوكالة الطاقة الأمريكية ٠

وقد قسم هذا البرنامج الى ثلاث مراحل وهى :

المرحلة الأولى : وهى خاصة بتصميم وتنفيـــذ واختبار مبـــادلات حرارية صغيرة Heat Exchangers لا تزيد على ١ ميجاوات حرارى (حوالى ٢٥ ميجاوات كهربى) وذلك لتعميق المعرفة عن الكائنات الحية التى تلوث الطبقات الدنيا ومن ثم تحسين الطرق الخاصة بالتقليل من آثارها وقد تم تنفيذ هذه المرحلة ٠

المرحلة الثانية : لاعداد سفينة خاصة مزودة بالامكانيات اللازمة لاجراء الاختبارات على مبـــادل حرارى مصغر بغية امداده بالبيانات الضرورية عن التلوث وعمليـــات التنظيف وكذا معلومات عن التيارات المائية وكل البيانات الأخرى الخاصة بالبيئة المحيطة بشكل عام ٠

المرحلة الثالثة : وهذه المرحلة والمقترح فيها بناء محطة تجريبية أو ارشادية Pilot Plant قدرتها حوالى ١٠ ميجاوات والهدف من اقامتها

وتشغيلها امداد البيانات اللازمة لتشغيل محطة متكاملة ذات قدرة تتراوح بين ١٠٠ ← ٢٥٠ ميجاوات OTEC Plant وانجاز الدراسات الفنية والاقتصادية اللازمة لامكانية استخدامها كمولدات لمواجهة حمل الأساس (Base Load) للجزر الأمريكية والتى تعتمد حاليا على محطات حرارية تعمل بالوقود السائل • وجدير بالذكر أن البيانات المتاحة حاليا تبشر بامكانية انشاء محطات ذات قدرة من ٤٠٠ الى ٥٠٠ ميجاوات •

التجارب الريادية لاقامة محطة توليد كهربائية باستخدام هذه التقنية

قام معهد أبحاث الطاقة الشمسية Solar Energy Research Institute (SERI) بتجربة لدراسة جدوى انتاج كميات معقولة من الطاقة الكهربية من منظومة لتحويل الطاقة الحرارية للدورة المفتوحة للتدرج الحرارى لمياه المحيطات (OC - OTEC) واختير حجم ١٦٥ ك•و• كقدرة اجمالية للنظام التجريبى بهدف تقييم أداء التوربين والتفاعلات التبادلية لعمليات المنظومة وبحجم مصغر يمكن استكماله (بالاستقراء أو القياس (extrapolated) لحجم تجارى (٥ الى ١٥ م•و• كهربى)• والأبحاث الخاصة لاستخلاص وتحويل مصدر الطاقة الحرارية للتدرج الحرارى لمياه المحيطات باستخدام الدورة المفتوحة بدأته وزارة الطاقة الأمريكية فى أواخر عام ١٩٧٨ بهدف دراسة جدوى هذه التقنية لانتاج قدرة ميكانيكية/كهربية بوسائل اقتصادية •

والدراسات الأصلية التى قام بها معهد بحوث الطاقة الشمسية (SERI) كان يدعمها النتائج التى خلصت اليها دراسات سابقة قامت بها:

- مدرسة المناجم بكلورادو •
- شركة وستنجهاوس •
- جامعة ماساشوستس •

وخلصت هذه الدراسات الى امكانية اقامة محطات ـ بحجم كبير Large Scale تأسيسا على هذه التقنية وبتكاليف اقتصادية بشرط أن تكون الافتراضات الرئيسية فى هذه الدراسات سارية المفعول أو صالحة Valid وفى برنامج بحثى لتطوير البيانات والطرق التحليلية لصقل وتأييد (دعم) هذه الافتراضات وضعت الخطة وتم تمويلها ـ بدأ من العام المالى ١٩٨٠ فى المجالات الفنية التالية :

- عمليات الإنتقال المادى Mass والحرارى بمياه البحر عند الضغط المنخفض .
- حركة امتصاص الغاز فى مياه البحر ووسائل التطهير Purge
- تصميم توربين الضغط المنخفض وتقنيات تحليل الأداء .
- طرق التقييم والتركيب الهيكلية والخوائية (الفراغية Vacuum)

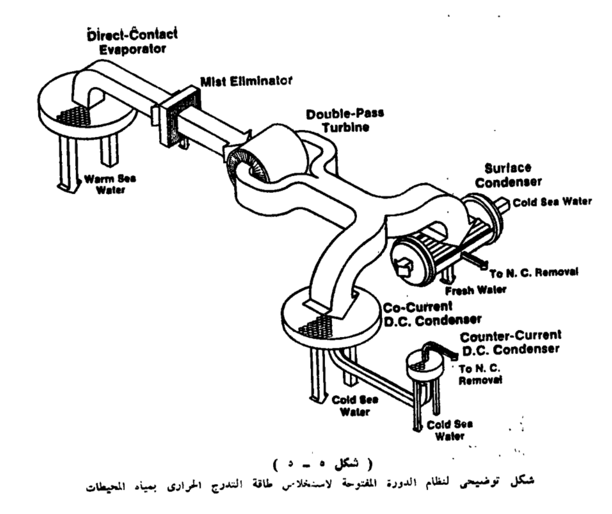
وكرس البحث - خلال الخمسة أعوام (١٩٨٥/٨٠) للحصول على بيانات يمكن أن تقوى أو تدعم التقديرات - أو الافتراضات - الخاصة بالدورة المفتوحة كما توفر قاعدة لتطوير النظام اذا ما قرر الصناعيون - أو رجال الصناعة . وتمخض هذا البحث عن بيانات فنية وطرائق كانت طبقت فى دراسة منظومة جديدة بمعرفة مركز الطاقة الشمسية بولاية فلوريدا والتى أظهرت أن جميع الفـروض (الافتراضـــات) - التى استخدمت فى تقدير دراسات الجدوى المبكرة - كانت متحفظة بل أن هذه الدراسات - والخاصة بالدورة المفتوحة OC-OTEC - أظهرت قدرا كبيرا من التفاؤل أكثر مما كان متوقعا . والاستنتاجات التى استخلصت من البحث - وحتى تاريخه هى : -

- يمكن باســتخدام تقنية الدورة المفتوحة للتدرج الحرارى لمياه المحيطات انتاج محطات بأحجام من ٥ الى ١٥ م . و . كهربى وبجدوى اقتصادية مقبولة .

- يمكن بناء أنماط أو وحدات جاهزة Modules لمحطات قـوى تستخدم الدورة المفتوحة للتدرج الحرارى لمياه المحيطات في المدى OC-OTEC ٢ الى ٥ م.و. كهربى بتقنية (عام ١٩٨٥) بقليل أو حتى بدون عمل امتـداد extension لتقنية التوربين الحرج وأنبـوب (ماسـورة) الماء البارد Critical Turbine and Cold Water Pipe Technology

- القضية الحرجة فيما يتعلق بجدوى تقنية OC-OTEC هى آثار الربط بين انتقال المادة والحرارة - تحويل الطاقة وديناميكيات الموائع . وهذه الآثار تحدد نسبة القدرة المنتجة الى متطلبـات القدرة المســاعدة للنظام .

والنتائج الرئيسية لدراسة النظام تبين أن هنالك توقعا لانتاج قدرة كهربائيــة بتكلفة مقبولة فى أحجام المحطات الصغيرة نسبيا باســتخدام عمليـــات OC-OTEC وهذا التوقع - أو التنبؤ - يمكن تحقيقه لأن



(شكل ٥ ـ د)

شكل توضيحى لنظام الدورة المفتوحة لاستخلاص طاقة التدرج الحرارى بمياه المحيطات

انتاج البخار والتكاثف يمكن تحقيقه باستخدام نظم بسيطة مدمجة Compact من نوع الانتقال الحرارى ذات الالتصاق أو اللمس المباشر والتى يمكنها أن تعمل بفاقدات هيدرولكية ضئيلة وكذلك لأن الغازات المتحللة والتى تنطلق من ماء البحر أثناء عملية التحويل يمكن تطهيرها ـ أو تنقيتها ـ بأقل قدر من القدرة المساعدة وبأقل أثر على أداء الانتقال الحرارى · وأمكن تحقيق نتائج الانتقال الحرارى هذه وكذلك المج desorption معمليا باستخدام مياه البحر ·

ويبين الشكل (٥ ـ ٥) وكذلك المتغيرات و (العوامل) المبينة بايجاز فى الجدول (٥ ـ ١) توصيفا لكل من المحطة التجريبية ومحطة قدرة ١٠ م٠و٠ (حقيقية) تعمل فى البحر (اليابسة) بتدرج حرارى قدره ٢٢ م · وعناصر التقنيـة ذات المخاطرة الكبيرة المصاحبة لمنظومة ١٠ م · و · والتى يأتى وصفها فى الجدول المشار اليه ـ هى التوربين كبير الحجم منخفض الضغط (يبلغ قطره حوالى ١٢ متر) وأنبوب (ماسورة) المياه الباردة والكبيرة الحجم (قطرها ٢ر٥م) · ولأن محطات OTEC ذات الدورة المفتوحة قد تكون اقتصادية لأحجام المحطات الصغيرة ومن ثم ليمكن اقامة محطة مكونة من عدد من الوحدات النمطية باستخدام مكونات بأحجام تجارية · وعلى الرغم من أن استخدام العديد من توربينات بخارية مزدوجة النهاية double-ended وعناقيد Clusters من مواسير مياه باردة أصغر (أو أقل حجما) يؤدى الى تكافه أعلى من استخدام الترتيب النموذجى (أو الأفضل optimum) فى كلا الحالتين الا أن الميزة العائدة ليست بذات قيمة كبيرة تكفى لأن تحول دون تطبيق هذا المبدأ فى تقنية OTEC على المستوى التجارى ـ فمحطة بقدرة ١٠م٠و٠ وتستخدم وحدات نمطية متعددة من التوربينات وبدوارات rotors من مراحل الضغط المنخفض لمحطات القوى التقليدية ووحدات نمطية متعددة من مواسير البولى ايثلين بقطر ٤ر٢ متر تنتشر بشكل (أو ترتيب) كاتينة مقلوبة inverse-Catenary تشبه للعديد من مخارج التصرف Outfalls المركبة على كل من ساحل الولايات المتحدة الأمريكية ·

جدول (٥ ـ ١) : مقارنة بين احدى تجارب الدورة المفتوحة وتصميم معيارى لمحطة ١٠م٠و

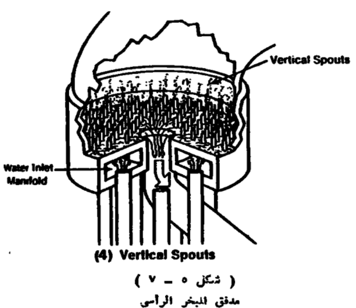
	النظام التجريبى	تصميم ١٠ م٠و
نظم القوى		
ـ التوربين (روتور مزدوج)		
ـ القطر (متر)	٤١ر١	٨١ر١١
ـ القدرة الاجمالية (ك٠و)	١٦٥	١٣٤٠٠
ـ وعاء التفريغ		
ـ مساحة المبخر (متر مربع)	٩ر١٠	٦٨٠
ـ مساحة المكثف (متر مربع)	٩ر٦	٤٨٠
ـ ضواغط (كباسات) العادم		
ـ عدد المراحل	٣	٦
ـ متطلبات القدرة (ك٠و)	٦ر٢٩	١٠٧٤
ـ نظم مياه البحر		
ـ أقطار المواسير ـ متر للمياه :		
ـ الدافئة	٧٦٢ر٠	٠٧ر٥
ـ الباردة	٧٦٢ر٠	٥٨ر٤
ـ التصرف	٠٧٨ر١	٢١ر٥
ـ اطوال المواسير ـ متر للمياه :		
ـ الدافئة	٢٥٠	٣١٥
ـ الباردة	١٦٧٥	٢٢٣٥
ـ التصرف	٥٠٠	٦١٥
ـ معدلات التدفق (كجم/ثانية) للمياه :		
ـ الدافئة	٥٨٥	٤١٣٠٠
ـ الباردة	٤١٠	٢٩٥٥٠
ـ الفقد فى المنسوب البارومترى (متر)	٧٥ر٣	صفر
ـ متطلبات القدرة للضخ (ك٠و)	٣ر٨٦	٢٣١٠
القدرة الخالصة (الصافية) ـ ك٠و	٤٩	١٠٠١٦

وحيث أن هنالك حلول متوقعة لقضايا اتاحية المكونات ـ الأداء ـ للتكلفة والمخاطرة الفنية والتى تمثل العوامل لمنع تطوير نظم OTEC ناجحة بقدرة من ٥ ←١٥ م٠ و٠ حيث يمكن للبحوث توجيـــه الانتباه للعامل الرئيسى الذى لا يزال غير مؤكد (أو غير معروف بدقة) لمصممى المحطة وهو آثار التفاعلات التبادلية والأقران بين العمليات Process Coupling or interaction effects ويبين الجـدول (٥ ـ ٢) هـذه العمليـات Processes والمعاملات الهندسية Geometric Parameters والتى تؤثر فيهم ٠ ويمكن الوصول بالأداء الثرمودنياميكى لمحطة دورة مفتوحة الى أقصى ما يمكن باختيار أفضل معاملات تشغيل Operating Parameters مثل معدل تدفق مياه البحر ٠ هنالك اختيار ثان مخالف لو أخذنا فى الاعتبار معاملات التكاليف والتى يتحكم فيها أشياء أخرى مثل الحجم والشـكل الهندسىَ ٠ اختيار ثالث من خـلال اختيار قاعدة الوصول الى أفضل تكلفة للخدمة Cost of Service ثم الرابع الأخذ فى الاعتبار عوامل طول العمر والخامس الأخذ فى الاعتبار عوامل الصيانة ٠ وكل العمليات Processes الخمسة الرئيســية تتفاعل وبشكل معقد (مركب) اسـتجابة للتغير فى معـاملات الشـكل الهندسى ومعـــاملات التشغيل ٠

وواضح أنه لا يمكن أن نختار معاملا للتشـغيل أو شكلا هندسيا لأى من مكونات النظـــام على أى شىء من الأداء الكلى للنظـام وقاعـدة التكلفة Criteria ٠

هذا وجدير بالذكر فان معدلات تدفق المياه لكل ك٠و٠ من القدرة الخارجة هى أعلى ـ وبقدر لا بأس به ـ من المحطات التقليدية ٠ وعلى كل ـ فبالاضافة الى هذا التفاعل أو الارتبـاط بين العمليـات فتتميز محطات الدورة المفتوحة بالتفاعلات الأكثر تعقيدا التالية :

(شكل ٥ ـ ٦)
عناصر تجربة الدورة المفتوحة بقدرة ١٦٥ ك٠و



(شكل ٥ ـ ٧)
مدفق المبخر الرأسى

جدول رقم (٥ ـ ٢) : عمليات الدورة المفتوحة والمعاملات الهندسية التى تؤثر فيها

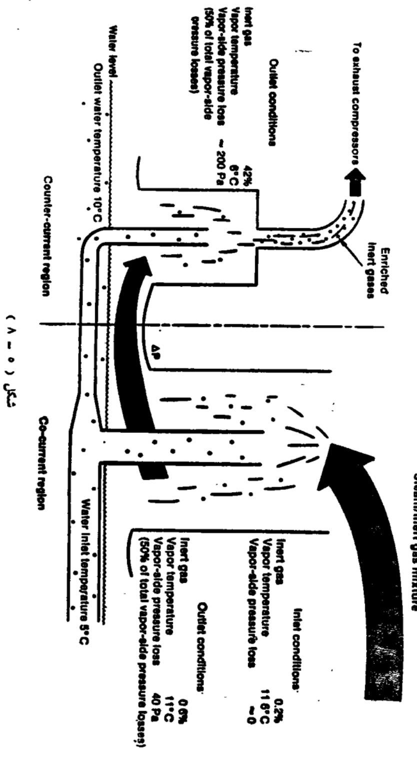
عمليات الدورة المفتوحة	معـــاملات التأثير
التحويل Conversion	الشكل الهندسى للتوربين ومعدل تدفق البخار
انتقال الحرارة والكتلة (الماء او البخار)	الشكل الهندسى للمبادل الحرارى ـ تدفق كل من ميـــاه البحر والبخار والجزء (الصغير) للغازات غير القـــابلة للتكاثف
ديناميكيات المائع البخارى	الشكل الهندسى لكل من المجرى Duct والمبادل الحرارى وكذلك معدل تدفق البخار ٠
هيدروليكيات مياه البحر	الشكل الهندسى لكل من المبادل الحرارى وماسورة مياه البحر وكذلك معدلات تدفق مياه البحر ٠
ديناميكيات التطهر من الغـــاز غير القابلة للتكاثف Noncondensable gas Purge dynamics	حركيات Kinetics امتصاص مياه البحر/الغاز ـ طريق المرور Path لعمليات مياه البحر وتصميم نظام الضاغط (الكباس)

ـ فاقدات ضغط البخار الجانبى Steam Side Pressure Losses ـ والتى تتأثر بأحجام المجارى ducts ـ كفاءة التخلص من الضباب وكل من توزيع التدفق والشكل الهندسى للمبادلات الحرارية ٠

ـ مدى فاعلية تنقية الهواء air Purge والتى تؤثر فى أداء انتقال الحرارة ـ متطلبات المضخات المائية وكل من تكلفة والقدرة اللازمة للضاغط (الكباس) ٠

ـ أداء التوربينات وفترة عمرها والتى تدار ببخار يحتوى على كلورين وكما يتأثران بالفاقدات الديناميكية للمائع البخارى ـ المحتوى من الهواء ٠ وكذلك التقلبات الحرارية لمياه البحر ومعدل تدفقها ٠

ويبين الشكل (٥ ـ ٦) الجهاز التجريبى ـ والذى صمم لتركيبه فى معمل الطاقة الطبيعية فى هاواى Natural Energy Lab. in Hawii



شكل (٥ – ٨)

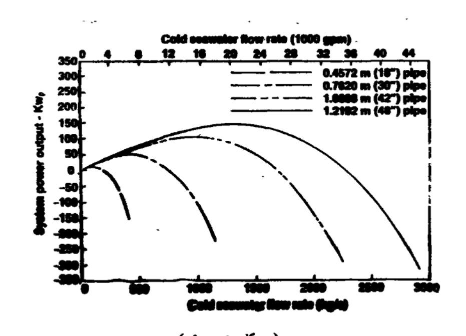
مكثف التلامس المباشر ذي المرحلتين

(NELH) عام١٩٧٤ • بينما ظلت أجهزة الاختبار التى أقامتها وزارة الطاقة الأمريكية NOE عليه والتى يطلق عليهاSeacoast Test Facility (STF) منذ يونيو ١٩٨١ وذلك عندما أصبحت الحاجة لاقامة تسهيلات اختبارية متكاملة ـ وطويلة الأمد ـ لتدعيم صناعة OTEC وأبحاث وتطوير طاقة المحيطات • ولقد استخدمت التسهيلات الاختبارية STF للقيـــام بأبحاث التلوث البيولوجى ـ التآكل ـ السيطرة على الكائنـات الحية والاختبارات الأخرى ذات العلاقة • وحديثا استخدمت لاختبار عمليـات OTECذات الدورة المفتوحة مثل التبخير الومضى Flash Evaporation ـ التكاثف بالاتصال Contact Condensation ونزع الهـواء من مياه البحر وانتهى العمل حديثا (عام ١٩٨٨) من رفع قدرة (سعة) ضخ مياه البحر الباردة (٧°م) من السعة ١٣٠٠ جالون (أمريكى)/دقيقة الى ٦٥٠٠ جالون/دقيقة وكان هذا التصميم ليتوافق مع سعة ضـخ المياه المطلوبة وتتكون من أربعة نظام رئيسية هى :

- مجموعة التوربين/مولد
- مبخر مياه البحر
- مكثف البخار
- وحدة التنقية من الغاز

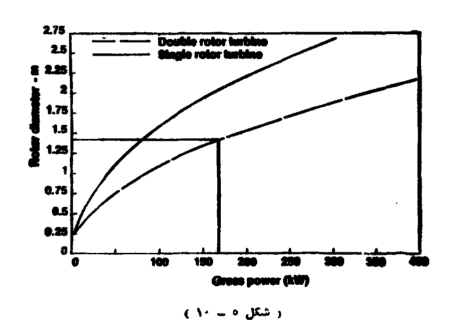
ولقد تم دراسة ثلاث من العمليات ـ وهى الانتقال الحرارى والمادى ـ هيدروليكيات مياه البحر ـ وديناميكيات التنقية من الغازات غير القابلة للتكاثف وتفاعلاتها فيما بينها البعض •

أولا : انتقال الحرارة والمادة : لقد صمم المبخر ـ حسب ما هو مبين بالشكل (٥ ـ ٧) وهو عبارة عن حقل من المزاريب Field of Spouts الرأسية ويمثل الشكل (٥ ـ ٨) تصور من مرحلتين تستخدم تدفقات متلاقية أو متوافقة Concurrent فى المرحلة الأولى وتدفقـات غـير متلاقية أو غير متوافقة فى المرحلة الثانية والغنية بالهواء • ويستخدم رصة من المصفوفات A matrix Packing للتزويد باتصال ما بين السائل والبخار بنسبة حجمية ٣ : ١ بين المرحلتين • وكان المستهدف من هذا التصميم الوصول الى معدل للتكثيف يبلغ ٠٫٨ كجم/ثانية ـ م٢ بفارق حرارى داخل entering ٧م٢ والذى يماثل (يطابق NELH ميـــاه البحر الباردة •



(شكل ٥ ـ ٩)

الأداء المتوقع لتجربة الدورة المفتوحة لاستخلاص طاقة التدرج الحرارى لمياه المحيطات



(شكل ٥ ـ ١٠)

اختيار حجم التوربين لتجربة الدورة المفتوحة

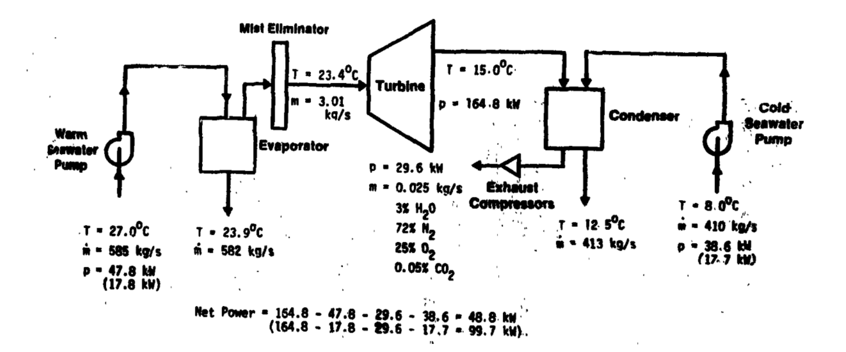
ويقــوم المكثف باثـراء المحتـوى من الهــواء للتدفـق البخارى Vapor Stream من ٥ر٠٪ الى ٣٥٪ ومن ثم يقلل المتطلبات الخاصة بقدرة التنقية Purge Power

ثانيا : ديناميكيات تدفق البخار : يتم الابقـاء على سرعة التدفق داخل مجارى المنظومة أقل من ٥٠٪ م/ثانية ويوجد فقط انحناء bend زاوية ١٨٠ فى طريـق (ممر) التدفق للتقليل من فاقدات الضـغوط الدنياميكية للمائع البخارى ٠

ثالثا : هيدروليكيات مياه البحر : لوحظ أن الفاقد فى الضاغط (head) داخل كل من المبخر والمكثف هو أقل من ١ متر وأقل من ٢ متر على التوالى ٠ أما الفـاقد فى ماسورة الميـاه الباردة فيتوقف على قطر الماسورة ٠ والفاقد الهيدروليكى فى النظام على جانب التدفق البارد هو ٢ر٣ متر ٠

رابعا : ديناميكيات تنقية الغازات غير القابلة للتكاثف : أوضحت التجارب أن حوالى ٩٠٪ من الغازات المتحللة فى مياه البحر يمكن انطلاقها قبل وصول مياه البحر الى أى من المبخر والمكثف ٠ ويقوم نظام التنقية بالتهوية والحفاظ على التفريغ المطلوب لكل من ضـغط المبخر والمكثف بمراحل متتابعة فى الضاغط (الكباس) متعدد المراحل ٠ ومثل هـذا التصميم يقلل من التدفق خـلال الضـاغط Compressor منخفض الضغط ٠ والتزويد بمبرد ما بين المراحل Interstage Cooler من شأنه ابعـاد البخار الذى ينبغى ضـخه من المكثف ومن ثم تقليل متطلبات القدرة للمكثف ــ الى أقل ما يمكن ٠

التحول الحرارى Thermal Conversion : : والهدف الأول من تصميم هذا النظام التجريبى هو أداء التوربين البخارى الذى يعمل عند ضغط منخفض جدا وبمعدل متغير للبخار والانثالبية Enthalpy كما أن هنالك هدف آخر لا يقل أهمية عن ذلك وهو تحليل الأداء والتحكم فى نظام قدرة يستخدم مثل هذا الطراز من التوربينات ويؤدى عمله بعمليات مرتبطة ارتباطا وثيقا Closely Coupled وكما هو مبين بالشكل (٥ ــ ٩) فان القدرة الخالصـة الناتجة من تجربة OTEC ذات الدورة المفتوحة بدلالة معدل تدفق المياه الباردة مع أحجام مختلفة لماسورة المياه الباردة ٠ من هذا الشكل نرى ــ مثلا ــ أن ماسورة قطرها ٣٠ بوصـة (٧٦ سم) تعطى ٦٥٠٠ جالون/دقيقة (أو ٤١٠ لتر/ثانية) وأغلب الظن فان هذا الحجم (للماسورة) قد يكون أصغر حجم يمكن أن يعطينا



Net Power = 164.8 - 47.8 - 29.6 - 38.6 = 48.8 kW
(164.8 - 17.8 - 29.6 - 17.7 = 99.7 kW).

Current design dictates a 3.75 m additional seawater head loss since the tank level is lower than barometric. Pumping power requirements for barometric level vacuum chambers are shown in parenthesis.

(شكل ٥ - ١١)

الشكل الانسيابي لتجربة الدورة المقترحة

نسـبة ـ ذات معنى ـ ما بين اجمالى gross القدرة المنتجة/وقـدرة المسـاعدات auxiliaries اللازمة لتشغيل المحطة ٠ ومعدل التدفق هذا ينتج قدرة اجمالية قدرها ١٦٥ ك ٠ ومع متطلبات قدرة كما هو مبين بالجدول (٥ ـ ١) ـ أى تعادل ١١٦ ك٠و٠

وكما هو مبين بالشكل (٥ ـ ١٠) فان قطر التوربين اللازم لانتاج ١٦٥ ك ٠ وهو ٤ر١ متر اى أنه يمثل حوالى ⅟٤ قطر توربين الحجم الطبيعى (٥ر٥ متر) ٠ وعلى الرغم من أنه ـ يكاد يكون من المستحيل ـ تحقيق تماثل طبيعى كامل Cpmplete Physical Similarity ألا أن هذا المستوى من القياس يمثل حالة واقعية لما تستخدمه الصناعة ـ فعلا لتكييف accomodate التماثل الثرموديناميكى والميكانيكى ٠ وعند هذا المستوى يمكن عمل التصويبـات Corrections فى مقياس الرسم وتمثيل كل من : ـ

- ـ رقم ماخ Mach. Number للروتور
- ـ رقم رينولد Reynold Number
- ـ آثار الرطوبة
- ـ التجاوب الديناميكى للريش
- ـ مدى التثبيت لاطار القرص Disc Rim .

ويمكن وضع المواصفات العـامة للتجربة بشـكل موجز كمـا هو مبين بالشكل (٥ ـ ١١) حيث تظهر درجات الحرارة ـ معدلات التدفق ومعدلات القدرة المصاحبة للمكونات الرئيسية ٠ ومن هذا الموجز والمناقشة المصاحبة **يمكن ان نستنتج أن القدرة الخالصة المستخلصة من المحطة لها حساسية قوية للطلب على القدرة المسـاعدة (المطلوبة للمساعدات) ٠ وأى حيدة (خروج) عن أى من القيم التصميمية سوف تؤثر فى القيم الأخرى ومن ثم يكون لها أثر مركب على الطاقة الخارجة من المحطة ٠**

مشاكل نقل الطاقة الكهربائية المولدة بهذه التقنية

ما زالت مشكلة نقل الطاقة الكهربائيـة المولدة من محطات تقدر سعتها من ١٠٠ ← ٥٠٠ ميجاوات من المشاكل الصعبة حقا والتى تتطلب جهدا مكثفا لحلها ٠ والمتصور حاليا هو أما استخدام أرصفة يتم انشاؤها فى قاع المحيط وتلقى عليهـا كابلات بحرية ٠ أو اسـتخدام كابلات كهربائية معلقة باستخدام قوارب لذلك ٠ وفى الحالة الأولى ينبغى عند

تصميم الكابل البحرى أن يؤخذ فى الاعتبار القوى الديناميكية الناشئة عن الأمواج وتيارات المحيط ٠٠ الخ وذلك الى جانب القوى الاستاتيكية لوزن الكابل تحت الماء ووزن المنشآت ٠٠٠ الخ ٠

وكذلك من المشاكل التى ما زالت تحتاج الى حل حاسم هى مشكلة لحام الكابلات وصيانتها عند الأعماق السحيقة ٠ وما زالت التكنولوجيا فى هذا المجال متأخرة وتحتاج الى مزيد من التطوير ٠ وأحد البدائل المطروحة استخدام كابلات بحرية من الألنيوم ـ بدلا من الرصاص ـ ومحاطة بطبقة البوليثلين Polythelene داخل غلاف محكم ومزودة بنظام تسليح مزدوج ٠

أما مستويات الجهد الكهربى الأكثر احتمالا لهذا النوع الكابلات فهـو ما بين ١٣٨ كيلو فولت و ٣٤٥ كيلو فولت للتيـار المتناوب أو من ± ٢٠٠ الى ± ٥٠٠ كيلو فولت للتيار المستمر ٠

ويجب الا يفوتنا هنا أن كل محطات القوى الكهربائية يلزمها دائما مصدر لبدء التشغيل مثل مولدات الديزل مثلا والتى يمكن تركيبها على رصيف المحطة أو على رصيف مساعد ٠

خطوات ضرورية قبل تنفيذ مشروع اقامة محطة لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الحرارية لمياه المحيطات

مما لا شك فيه أن التكنولوجيا المتاحة يلزمها المزيد من التطوير حتى يمكن تنفيذ هذا المشروع ٠ وعلى الرغم من أن البرنامج الأمريكى قد تضمن اجراء الدراسات الفنية والاقتصادية والجوانب الاجتماعية والبيئية لهذا المشروع الا أنه ينبغى ألا تفوتنا أهمية الدراسات الخاصة بتخطيط التشغيل الفنى والاقتصادى لهذه المحطات مثل : ـ

١ ـ تحديد المتطلبات والتسهيلات اللازمة فى مواقع الانشاء بما فيها كذلك من لوازم شبكة نقل الطاقة الكهربائية ٠

٢ ـ دراسة التكاليف المتوقعة للصيانة وادخالها فى معادلة انتاج الطـاقة ٠

٣ ـ تحديد الخواص الاقتصـادية اللازم أخذهـا فى الاعتبار عند تحديد خطط التوسع فى انشاء المحطات الكهربائية ٠

٤ ـ تحديد أفضل الترتيبات الممكنة لربط هذه المحطات بالشبكات الكهربائية الرئيسية .

٥ ـ تحديد الخصائص اللازمة لدراسة السلوك المستقر والديناميكى للشبكات الكهربائية الرئيسية بعد ربط هذه المحطات بها .

هذا وقد قام فعلا معهد ماسوشيش للتكنولوجيا ولمدة ثلاثة أعوام باستنباط نماذج دقيقة للحاسب الالكترونى وذلك لامكانيـــة اجراء الدراسات الفنية والاقتصادية لهذه المحطات .

الفصل السادس

طـاقة جوف الأرض

ـ طاقة حرارة باطن الأرض هي طاقة حرارة طبيعية للأرض مصدرها الباطن المنصهر للأرض ومعظم هذه الحرارة ناتج عن انحلال decay العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم والمتواجدة داخل أعماق غائرة في الأرض • كذلك نتيجة الاحتكاك العميق (السحيق) أسفل القشرة الأرضية • والينابيع الحارة والحمى الفوارة geysers هي نتاج الطاقة الحرارية في باطن الأرض (الجوفية) ويمكن للحرارة الأرضية تدفئـة بل غليـان المياه الجوفية والتي تصعد الى السطح على هيئة مياه ساخنة أو بخار • وفي بعض المناطق يمكننا استخدام هـذا البخار مباشرة لأعمال التدفئة والتسخين داخل المنازل أو في العمليات الصناعية أو استخدامه لادارة التوربينات لتوليد الكهرباء •

ـ وجدير بالذكر فان معظم نظم تيارات الحمل convection الحرارمائية hydrothermal تم تشخيصهـا (تحديدهـا) بوجود ينابيع حارة عند السـطح وعلى الرغم من أن بعضهـا وجد أثناء الحفر والتنقيب عن النفط أو الغاز أو أثناء البحث عن الظواهر الجيو ـ حرارية الشاذة بقياس التدرجات الحرارية في آبار holes ضحلة يتم حفرها خصيصا • والكثير من النظم الجوفية ذات الحرارة العالية تم تأكيدها من خلال حفر واحد أو أكثر من الآبار لأعماق تتراوح ما بين مئات الأمتار الى كيلو متر أو أكثر •

وكميـة الطاقة في باطن الأرض ـ بالنسبة للنظم الجوفية عالية الحرارة (أعلى من ١٥٠°م) تم حسابها بعد تقدير كل من درجة الحرارة "t" ـ المسـاحة "d" وكثـافة أو سـمك خزان الحرارة الجوفي "a" أما تقديرات الحرارة فهي تأسيسا على معلومات تستسقى من حفر بئر (أو أكثر) وكذلك/أو/أجهزة قيـاس الحرارة الجوفيـة الكيميائيـة chemical-geothermometers • أما تقديرات المسـاحة والسـمك (الكثافة) فهي تأسيسا على المعلومات المستقاة من خلال حفر بئرو و/أو

من الطبيعة الجيولوجية للسطح ـ توزيع الينابيع الحارة ـ أنماط الفوالق (Facults) الى جانب المعلومات الجيولوجية الأخرى • ومن ثم هذه المعلومات يجرى تقدير الحرارة النوعية ـ الحجمية ـ لصخر ذى نفاذية أو مسامية ρ_c Porosity والطاقة الحرارية المختزنة q_R المحسوبة ـ فوق درجة الحرارة الأساس Reference Temp. "to" (والتى تؤخذ دائما ١٥°م) هو : ـ

$$q_R = \rho_c \text{ a. d } . (t - t)$$

وتوجد كميات هائلة من الطاقة الحرارية تقع أسفل سطح الأرض بالقرب من الكثير من المناطق فى العالم وأصبحت مهمة تسخير أو استخدام هذا المصدر الطبيعى لكى ينتج طاقة كهربية على الرغم من ربحيتها الا أن البحث عن مصادر طبيعية يمكن استغلالها تجاريا ما زال يشكل مخاطرة مكلفة • وجدير بالذكر فان الرومان سبقوا العالم فى استغلال هذه الطاقة الحرارية عندما استغلوها فى حماماتهم الشهيرة • ولقد قدر أحد معاهد البحوث الأمريكية الشهيرة (EPRI) أنه يمكن توليد قدرة الكهربائية تعادل ١١٠٠٠ ميجاوات لمدة ٣٠ سنة على الأقل باستغلال هذا المصدر داخل الولايات المتحدة وحدها • وهذا الرقم ـ حسب تقدير المعهد المذكور يوفر حوالى ١٦٤ مليون برميل نفط سنويا • ولكن المؤشرات تبين أن هذا ربما يمكن تحقيقه عام ٢٠٠٠ ومع تحسن الظروف الاقتصادية •

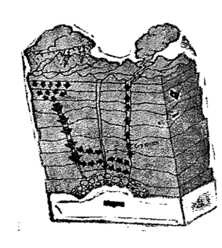
وتتمثل المشكلة الرئيسية فى استغلال طاقة حرارة باطن الأرض فى صعوبة تقييم درجة المخاطرة فى استغلال هذه المصادر الحرارية التى ما زال يكتنفها الغموض (أو التى ما زالت قابعة ولم تستكشف أو لم ترتاد بعد) • والتكلفة الكلية للكهرباء المولدة تعتمد بدرجة كبيرة على حرارة المياه والبخار النابعة من الآبار الجديدة (الحديثة) ـ انتاجية الآبار ـ والمشاكل الاضافية التى يمكن أن تثار فى حالة وجود كميات كبيرة من المعادن المتحللة أو غاز كبتريد الهيدروجين الضار • وأخيرا فمن الصعب التنبؤ بمدى عمر البئر حتى ينضب •

الفصائل المعروفة لطاقة جوف الأرض

توجد ٤ (أربعة) أنواع أو فصائل أساسية لطاقة باطن الأرض هى :

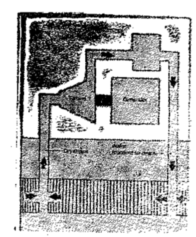
اولا : نظم البخار الجاف Dry Steam Hydrothermal System

مثل تلك الينابيع الحارة تشمل أكثر أشكال الطاقة الجوفية وضوحا واستغلالا ولكن لسوء الحظ فهى على النقيض الأندر تواجدا •



(شكل ٦ ـ ١)

تكون الخزانات الجوف ـ أرضية حيث تتحرك الصخور المنصهرة (الماجما) من أعماق الأرض الى أعلى من خلال التشققات فى القشرة الأرضية وتسخين المياه والصخور القريبة من السطح



(شكل ٦ ـ ٢)

دورة البخار الجاف حيث يوصل البخار الجاف من داخل الخزانات الطبيعيـــة تحت الأرض ـ من خلال مواســـير ـ الى توربين بخارى تقليدى لتوليد الكهرباء. ويكثف البخار الى ماء يعـــاد ثانية الى الأرض .

فالبخار يتكون كماء المطر الذى يتسرب الى داخل الصخور ويسخن بواسطة الماجما (magma) (أو الصخور البركانية المنصهرة) وهى مادة منصهرة ترتفع من أعماق الأرض (وعندما تصل هذه المادة magma الى سطح الأرض يطلق عليها اسم Lava أو الحمم البركانية ٠ ولقد تبين أن المناطق التى تمتاز بالطاقة الجوفية تتميز بنشاطات جيولوجية جديدة مثل البراكين والتشققات الأرضية Faultings وتتواجد نظم البخار الجاف حيث تتسرب مياه الأمطار الى الصخور والتى تكون قد سخنت بواسطة الماجما (أى الصخور المنصهرة) وتمتص بعض حرارة الصخر ثم تتجه ثانية نحو سطح الأرض من خلال الشروخ أو التشققات Cracks ٠ وتتجمع فى خزانات تحت الأرض على هيئة بخار ٠ ويستخلص البخار الجاف منها بحفر آبار وتمرير البخار خلال توربين بخارى لتوليد الكهرباء ومن أشهر المحطات التى تستغل هذا النوع ـ محطة جيزارز Geysers وهى محطة تبعد ٩٠ ميلا شمال سان فرانسيسكو وقدرتها ٩٠٨ ميجاوات ٠ وتعمل المحطة باستمرار لتغذية مدينة سا فرانسسكو بحوالى نصف احتياجاتها من الكهرباء ٠ وتخطط مؤسسة الباسفيك للكهرباء والغاز رفع قدرة هذه المحطة الى ٢٠٠٠ ميجاوات خلا التسعينيات من هذا القرن ٠

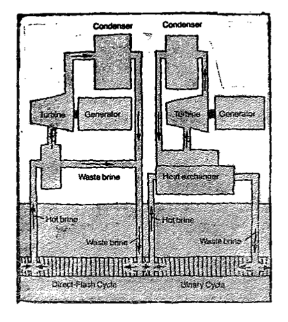
ويعتبر نظام البخار الجاف أبسط وأرخص أشكال الطاقة الجوفية التى يمكن تسخيرها أو استغلالها ولكن لسوء الحظ فهى نادرة ولا تمثل سوى ٥ر٠٪ من مصادر الطاقة الجوفية بالولايات المتحدة ٠ ولعل أشهر مصادر هذا النظام يقع فى ايطاليا واليابان والمكسيك وفى ٣ مواقع فقط داخل الولايات المتحدة ٠

ثانيا : نظم الماء الساخن (الحار)

Hot Water Hydrothermal System

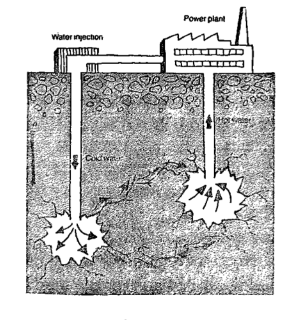
وتمثل هذه ١٠٪ من المصادر الجوفية بالولايات المتحدة الأمريكية ٠ وتوليد الكهرباء باستخدام المياه يعتبر لحد ما أكثر تعقيدا منه باستخدام البخار ٠ والكثير من أبحاث اليوم تتركز على تحسين توليد الطاقة الكهربية من الماء الساخن ٠ فمشاكل المركبات المعدنية المتحللة والتى تكون قشرة صدأية داخل المواسير هى أكثر وضوحا فى حالة المياه الحارة عنها فى حالة البخار هنالك مشكلة أخرى وهى مشكلة الرائحة الكريهة الصادرة من غاز كبريتور الهيدروجين فى حالة عدم معالجته جيدا ٠

ونظم المياه الحارة تبلغ عشرين ضعف نظم البخار الجاف ٠ وتقدر الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام عام ٢٠٠٠ بحوالى ٨٥٪ من اجمالى الطاقة الكهربائية المولدة من المصادر الجوفية كلها ٠



(شكل ٦ ـ ٣)

دورة الماء الساخن • ففى دورة الوميض المباشرة يخفف الضغط فجأة عن المحلول الملحى الساخن لينتج بخار والذى ينقـــى ثم يدخل توربين بخارى تقليدى لتوليد الكهرباء • وفى الدورة الثنائية تنتقل حرارة المحلول الملحى ـ من خلال مبادل حرارى ـ الى مائع ثانى والذى يتحول الى بخار لادارة التوربين •



(شكل ٦ ـ ٤)

النظام البتروحرارى حيث يتصـــدع الصـــخر الساخن ويحقن الماء البارد من خـــلال ماسورة طويلة فيسخن الصـــخر الماء وهذا الأخير يستخدم فى دورة معيارية لاســـتخلاص طاقة جوف الأرض لتوليد الكهرباء •

وتحدث (تتواجد) هــذه النظم حيث تتكون جيوب من الماجمـا (الصخور المنصهرة) قريبة من سطح الأرض • ومن ثم تنقل حرارة مكثفــة intense (ضخمة) الى طبقات الصخور التى تعلوها وتنتقل الحرارة الى المياه المحبوسة داخل طبقات هذه الصخور ولا تتحول هذه المياه الى بخار نظرا لوجودها تحت ضغط عال (نسبيا) حتى عند درجات أعلى كثيرا من درجة غليان الماء العادية (١٠٠ مئوية) • ولقد ثبت أن دورة Flash (الوميض أو البريق) المبـاشرة أنهـا تقنية عملية لتوليد الكهرباء من نظم الميــــاه الحارة لدرجات أعلى من ٢١٠ مئـوية (٤١٠ فهرنهيت) ويخفض الضغط على نظام المياه الحارة والمياه الجوفية تتدفق تلقائيا الى فوهة أو أعلى البئر دون ضخ • وفى العملية تغلى المياه وتتبخر ويستخدم البخار الناتج لادارة توربين تجارى لتوليد الكهرباء •

وتعتبر الآلة المكونة من توربين ـ فاصل دوار Rotary Separator هى آلة جديدة لرفع كفاءة دوارة الوميض flash المباشرة باستخدام كل من البخار والماء الحار الوارد من فوهة أو أعلى البئر وتقوم اســـطوانة drum دوارة بفصل البخار عن الماء الحار بفعل القوة الطاردة المركزية حيث يطرد الماء الحار خارجا وتتجمع المياه على محيط الاسطوانة drum ويسحب البخار حيث يمر خلال مواسير الى التوربين البخارى • ويرسل الماء الحار خلال توربين سوائل خاص Liquid Turbine ثم يعاد حقن كل من المياه والبخار المتكاثف الى الأرض •

وتقنية الوميض Flash المباشر غير اقتصادية بالنسبة للمياه فى درجات الحرارة المتوسطة (١٥٠° الى ٢٠٠° مئوية) • وحيث أن كمية المياه ـ من هذا المستوى الحرارى ـ تمثل حوالى نصف مصادر الطـاقة الجوفية لذا كان تطوير هذه التقنية ذى أولية متقدمة الا أنه يبدو أن الدورة الثنائية Binary Cycle ستكون الحل لذلك • وهذه الدورة تنقل الحرارة من المياه الجوفية الحارة الى مائع ثان (وسيط) والذى قد يكون أيزوبوتين Isobutane أو الفريون والتى لها درجة غليان أقل • وخلال تحرك المياه الحارة فى دائرة مغلقة خلال مواسير ذات سمك رفيع (رفيعة الجدران) فانها تنقل حرارتها الى مائع ثان والذى يدور بدوره فى دائرة مغلقة أخرى تحيط بمواسير المياه • ونظرا لدرجة غليان المائع المنخفضة (نسبيا) فانه يتبخر ويستخدم هذا البخار لادارة توربين لتوليد الكهرباء • ويعاد حقن المياه الى الأرض لاكمال الدورة خلال الخزان الأرضى • والدورة الثنائيــة لهــا ميزة هامة بالنسبة لطريقة الوميض المباشرة وهى أنها تستخدم كمية أقل من المياه الحارة لتوليد نفس القدر

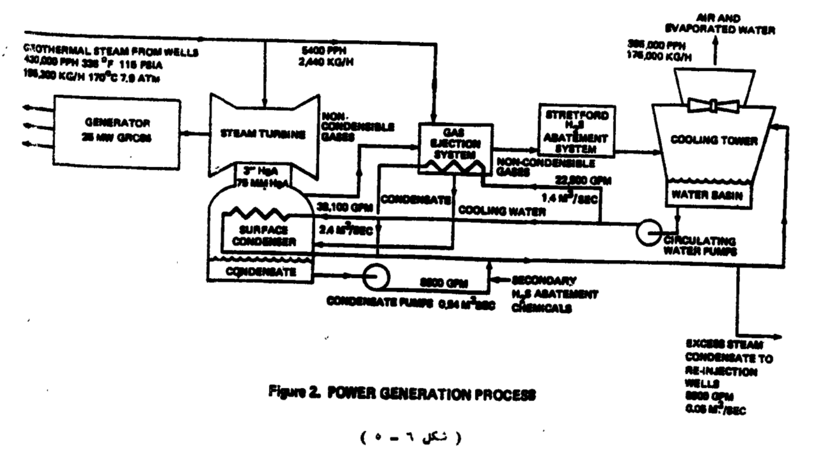


Figure 2. POWER GENERATION PROCESS

(شكل ٦ ـ ٥)

تصميم المحطة « بونا ـ بجزيرة هاواي » لتوليد ٢٥ م.و • من جوف الأرض •

من الطاقة الكهربائية • وهذه الميزة من شأنها خفض التكاليف علاوة على ترشيد مصدر هذه الطاقة • وتقنية الدورة الثنائية دخلت حاليا مرحلة الانتاج التجارى •

ثالثا : نظم المياه المضغوط Geopressured System وهى تحتوى كذلك على مياه حارة ولكنها دائما بدرجة حرارة أقل من النظم الحرارية المشار اليها عالية • وهذه النظم تحدث حيث « تحبس trapped المياه فى الرمال تحت طبقات من قشرة غير مسامية وتسخن بالتوصيل (بالحرارة الموصلة) من الصخور التى أسفلها ومثل هذه الخزانات تقع تحت ضغط عال جدا وتحتوى على الميثان المحلل والذى يمكن أن يكون هو الآخر مصدر للطاقة لو أمكن استغلالها بطريقة اقتصادية •

وهـذه النظم تمثل كذلك حوالى ١٠٪ من الطـاقة الجوفيـة فى الولايات المتحدة الأمريكية الا أنه لم تثبت بعد جدواها الاقتصادية •

وهذه النظم ـ والتى يقع معظمها فى الولايات المتحدة ـ على ساحل الخليج فى كل من تكسـاس ولويزيانا وتمثل حوالى ١٠٪ من اجمـالى مصادر الطاقة الجوفية • وفى هذه النظم تسخن المياه المالحة بالماجما (الصخور المنصهرة) أسفلهـا وتحبس فى الرمال بين طبقات غـير مسامية ، وأحجار الشيل Shale تحت ضغط عال جدا • والماء المالح ـ فى حد ذاته ـ ليس حارا بالدرجة التى يستحق من أجلهـا حفر آبار لاستخراجه ولكنه يحتوى على غاز الميثان المحلل (وهو المكون الأساسى فى الغاز الطبيعى) • ويجرى العلماء حاليا الأبحاث لاستنباط توليفة من العمليات لاستخراج كل من الميثان والطاقة الحرارية لتوليد الكهرباء• والتطور المسـتقبلى لنظم الميـاه الجوفية المضـغوطة يعتمد على العوامل الاقتصادية أكثر من العوامل الفنية •

فتقنيات الحفر والاستخراج متاحة الا أن الحفر مكلف جدا حيث أن أعماق مناطق هذه النظم تتراوح ما بين ١٥٠٠ الى ٦٠٠٠ متر تحت سطح الأرض علاوة على الضغط العالى جدا (الفائق) •

رابعا : النظم البترو ـ حرارية Petrothermal System حيث تسخن الصخور المتبلورة (البلورية) نتيجة التلامس مع الماجما magma (المادة المنصـهرة التى تأتى من الأعمـاق السحيقة للأرض) الواقعة نسبيا بالقرب من السطح وهى تمثل حوالى ٨٠٪ من مصادر الطاقة الجوفية التى يمكن استغلالها لتوليد الكهرباء بالولايات المتحدة الأمريكية•

وقد يأتى يوم يكون فيه من الممكن حقن الماء مباشرة الى مثل هذه المادة النارية أو البركانيـة واسترداد البخار الذى يتكون • ولكن قبل امكان استخلاص الطاقة عمليـا ينبغى أن نتعلم الكثير عن الخواص الدنيـاميك حرارية والميكانيكيـة لهـذه النظم كذلك عن طبيعة انتقال الحرارة داخل أعمـاق الأرض • عـلاوة على ذلك لابـد من الحاجة الى تكنولوجيا جديدة قبل أن يصبح أى من هذه النظم ذى جدوى على النطاق التجارى •

والطاقة البتروحرارية هي أكثر النظم وفرة فهى تمثل أكثر من ٧٠٪ من اجمالى الطاقة الجوفية الا أنها - وللأسف الشديد (لسوء الحظ) أقلها من حيث امكانية الاستغلال وهذا النظام يتواجد عند رفع الماجما (الصخور المنصهرة) بفعل البراكين النشطة - قرب سطح الأرض - أو بتحرك القشرة الأرضية وتنقل الماجما الحرارة الى الصخور المحيطة • وأحد الطرق لاستخلاص الطاقة الحرارية من الصخور الساخنة والجافة هى بحفر زوج من الآبار حتى قاع الصخور وتختلق منظومة من الكسور أو التصدعات Fractures داخل الصخور بين الآبار من خلال دفع ماء بارد خلال هذه الآبار • وتسخن المياه خلال تدفقها خلال شبكة الكسور أو التصدعات ثم تحبس داخل البئر الثانى وتضخ ثانية الى السطح • ولقد بينت الاختبارات الأولية جدوى هذه الطريقة فنيا الا أنه ما زال الكثير لنعرفه عن النظم البتروحرارية قبل تعميم استخدامها فعلى سبيل المثال كيف يكون سـلوك صـخر مثل الجرانيت عند درجات الحرارة والضغوط العـالية ؟ وكيف تكون سرعة توصيل الصخر للحرارة الى الشروخ Cracks حيث تسخن المياه ؟ كذلك فان التكلفة عنصر لا ينبغى اغفاله فحفر بئرين داخل الصخور القاسية لهو باهظ التكلفة وعليه لابد أن تكون الطاقة التى سوف تستخلص بالحجم الذى يستحق ذلك •

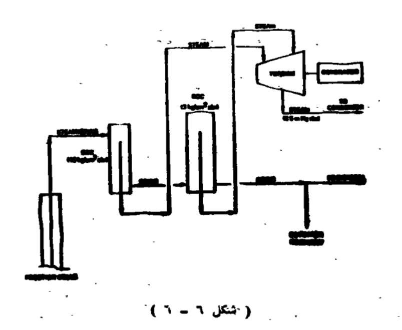
مشاكل الاستفادة من نظم طاقة جوف الأرض

بنظرة للنظم الأربعة مجتمعة - بغض النظر عن حدود التكنولوجيا الحالية أو الجاذبية الاقتصادية فان الأربعـة أنـواع من الطرقة الجوفية تمثل مصدرا طبيعيـا رئيسيا (هاما) للطاقة فى بعض البـلاد مثل الولايات المتحدة • واذا أمكن استخلاصها جميعا فان القدرة الناتجة يمكن أن تمثل اسهاما كبيرا فى احتياجات هذه البلاد • ويدور البحث حاليا نحو تطويع هذا المصدر الهائل ليكون متاحا بتكلفة منافسة •

وتعتبر مشكلة الأملاح والمعادن المتحللة والمترسبة احدى المشاكل التى تشترك فيها كل محطات الطاقة الجوفية • فالمياه الجوفية فى أغلب الأحيان ـ تحوى على أملاح وبعض هذه الأملاح يمكن أن يتسبب فى تآكل المواسير والمهمات الأخرى • أما المعادن فيمكن أن تسبب فى مشاكل أكبر فهى تنفصل أثناء العملية وتسد المواسير بطبقات من الصدأ •

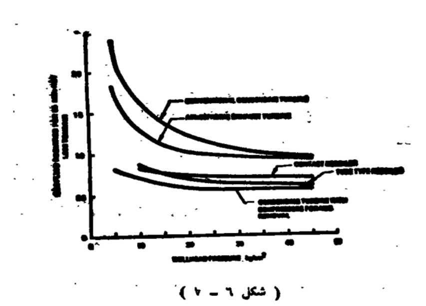
وفى سبيل حل هذه المشاكل صمم العديد من برامج الحاسبات الالكترونية لمحاكاة التركيب الكيميائى للمياه الحارة والبخار عند مواقع محددة (معينة) ومعدلات تكوين الترسبات من المعادن لهذه المواقع • ومن هذه البيانات سوف يتمكن المهندسون من اعداد أفضل التصميمات للمهمات وبرامج الصيانة للسيطرة على ظاهرة تكون الصدأ والتآكل • وفى نفس الوقت هنالك حلول ـ قصيرة المدى ـ تساعد على التقليل من حجم المشكلة فباضافة كيماويات معينة (مركبات كيماوية معينة) الى المياه تمكن من منع بعض الترسبات لبعض المعادن • كما أن تخفيض درجة حرارة وضغط المياه تدريجيا تساعد فى السيطرة على ترسبات المعادن •

هنالك مشكلة أخرى وهى المنتجات الثانوية من الغازات فعادم التوربين ـ سواء فى حالة البخار الطبيعى أو البخار المولد من عملية الوميض المباشرة ـ يمكن أن تحتوى على غازات غير مرغوب فيها • ولعل أكثرها شيوعا غاز كبريتيد الهيدروجين ذى الرائحة الكريهة حتى لو كان بتركيز بسيط وقد يصل الى درجة الغاز السام لو كان بتركيز عال • ومما يذكر أن هذا الغاز يتواجد بنسبة تتراوح من ٢٠٪ ـ ٢٥٠٪ فى كل نظم مصادر الطاقة الجوفية وأحد الحلول لهذه المشكلة بالتخلص من الغاز قبل دخول البخار الى محطة توليد الكهرباء • فالبخار القادم من الأرض بتكاثف (ومن ثم يتحول الى ماء) بينما الغازات غير المتكاثفة ـ مع كميات صغيرة من البخار ـ تأخذ طريقها الى أعلى ويتم التخلص منها بحقنها (أى حقن البخار الملوث بهذا الغاز) ثانية الى الأرض (وقد يمكن استنباط طريقة اقتصادية لاستخلاص الكبريت من هذا البخار الملوث) ولا تزال المياه المكثفة بدرجة عالية تكفى للغليان مكونة بخارا نظيفا يستخدم لادارة توربين لتوليد الكهرباء ـ وهذا النظام ذى كفاءة طيبة جدا ونسبة الفاقد فى القدرة صغير •



(شكل ٦ – ٦)

رسم توضيحى لتصميم محطة استخلاص طاقة جوف الأرض فى « كيوبرتيو »



(شكل ٦ – ٧)

مقارنة بين خصائص العمليات التشغيلية أو التجهيزية لمصادر الغـازات غير المتكافئة عالية الضغط .

تطويع طاقة جوف الأرض لتوليد الكهرباء

تعتبر وحدات استخلاص الحرارة من باطن الأرض واستغلالها فى توليد الكهرباء بمحطة ماموث Mammoth ـ وهى قريبة من بحيرات ماموث بولاية كاليفورنيا الأمريكية ـ أول محطة نمطية Modular فى العالم ـ تبرد بالهواء (تم تشغيلها فى نوفمبر ١٩٨٤) وما زالت تولد الكهرباء بدرجة اتاحية تزيد عن ٩٠٪ ويتكون النظام من ٤ آبار للانتاج ـ ٣ آبار حقن Injection ومحطتان متماثلتان يعملان بالدورة الثنائية Two Identical Binary Power Plants سعة كل منها ـ على مدار العام ـ ٣٥٠٠ ك.و. (باستبعاد طاقة الضخ من الآبار) ٠ أما مصدر الحرارة الجوفية ـ أو المكمن Reservoir فهو عبارة عن مصدر ذى درجة ملوحة منخفضة (١٥٠٠ ب.ب PPM) ذى درجة حرارة متوسطة ويستخرج الماء الحار (الساخن) باستخدام مضخات متعددة المراحل ـ وتحت ضغط كاف ـ لمنع تكون الأصداء ٠

ويستخدم التبريد بالهواء (الهوائى) للتخلص من الحرارة الى الجو atmosphere وتكون النتيجة أنه لا انبعاث هوائى أو مائى من أى من مصدر الحرارة الجوفية أو من المحطات ٠

وفى مدينة « كيروبريتو Cerro-Prieto بالمكسيك » محطة توليد كهرباء باستخدام طاقة الحرارة الجوفية سعتها ـ فى مرحلتها الأولى ١٨٠ م.و. وتم حديثا بناء توسع لها سعة ٤٤٠ م.و. ـ ويفصل خليط البخار والمحلول الملحى brine الناتج من بئر الانتاج ـ باستخدام وحدات سيكلون ذات مخارج سفلى Bottom-Oulet-Cyclones (BOC) عند ضغط ١٠ كجم/سم٢ ٠ ويرسل بخار الضغط العالى الى مدخل الضغط العالى لتوربين مزدوج المدخل أما المحلول الملحى فيتم اجراء عملية الوميض له ثانية حيث يفصل البخار عن المحلول الملحى عند ضغط ٣ كجم/سم٢ ٠ ويرسل هذا البخار الى مدخل الضغط المنخفض للتوربين البخارى (شكل ٦ ـ ٦) ويكثف البخار العادم حيث يستخدم لتغذية مياه التعويض لأبراج التبريد ٠

وجدير بالذكر فان معهد EPRI قام بتحليل ٢٤٠ دورة قدرة Power Cycles لتحديد أفضل ـ أو على الأقل ما يقرب من الأفضل ـ الدورات لمحطات القوى المقامة على آبار استخراج الحرارة الجوفية على مدى واسع من درجات الحرارة ٠ ولقد شملت الدورات التى تم تحليلها على مدى يتراوح من ٢٠٠ حتى ٦٠٠ درجة فهرنهيت وخلصت نتائج

البحوث الى تحديد عدد صغير (قليل) من الموائع العاملة والتى يمكن أن تعطى كفاءة استخدام ـ قريبة من المثلى ـ معبرا عنها وات ساعة من صافى الكهرباء المنتجة/لكل رطل من الموائع الخارجة من البئر وهذه هى :

١ ـ الفريون R-12 لمدى ٢٥٠ ← ٣٥٠ درجة فهرنهيت

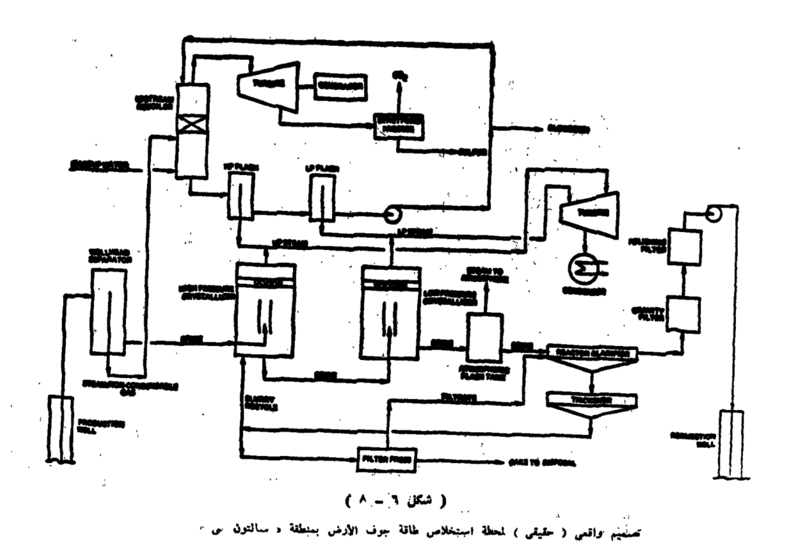
٢ ـ أيزوبوتين Isobutane للمدى ٣٢٥ ← ٤٢٥ درجة فهرنهيت

٣ ـ الخليط ـ ٢ (٧٠٪ أيزوبوتين Isobutane، ٣٠٪ أيزوبنتين Isopentane) للمدى ٣٥٠ ← ٤٥٠ درجة فهرنهيت ٠

٤ ـ سيكلونتين Cyclopentane للمدى ٤٥٠ ← ٦٠٠ درجة فهرنهيت ٠

مستقبل تقنية استخلاص طاقة جوف الأرض

طاقة حرارة الأرض الجوفية هى واحدة من مصادر الطاقة المتعددة والتى يمكن أن تساهم فى ملء الثغرة بين المصـــادر الناضبة والطلب المتزايد على أنواع الوقود الحفرى ٠ وامكانية نقصان المحتوى الحرارى تمثل مشكلة حقيقة فعلا ولكن ينبغى أن نتذكر أن طاقة حرارة الأرض الجوفية هى مصدر متجدد للطاقة بمعنى انه لا ينضب اذا لم يستخدم (يستغل) بمعدل اسرع من المعدل الذى تجدده ـ طبيعيا ـ العمليـات الأرضية (داخل الأرض) Earth's Processes وتعتبر حرارة الأرض نسبيا ـ مصدرا نظيفـا ويعتمد عليه ٠ وبزيادة المعرفـة عنه وبالتقدم التكنولوجى تصبح عملية استخلاصهـا أكثر اقتصـــادية ٠ وبالنسبة للولايات المتحدة الأمريكية ـ مثلا ـ فان هذه المصـادر تقع تحت أرض معظم الولايات ٠ وحتى عام ١٩٨٤ فان اجمالى القدرة المولدة من هـذه المصادر ـ فى الولايات المتحدة تبلغ ٩٤٠ ميجاوات ويتوقع تضاعف هذا الرقم فى أوائل التسعينيات وليصل الى ١٦٠٠٠ ميجاوات (١٦ تيراوات) عام ٢٠٠٠ يمكنها أن تعمل لفترة أطول من ٣٠ عام علاوة على ذلك فلقد أمكن رصد مصادر لهذه الطاقة باجمالى سعة ٢٤٠٠٠ ميجاوات يمكن أن تغذى بالطاقة لمدة تزيد عن ٣٠ عام ٠٠٠ !! ٠



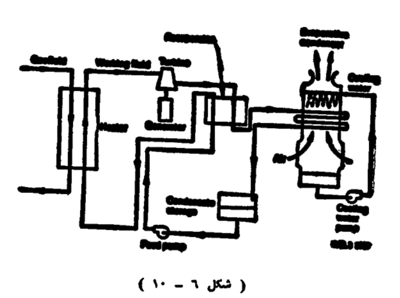
(شكل ٦ ـ ٨)

تصميم واقعي (حقيقي) لمحطة استخلاص طاقة جوف الأرض بمنطقة « سالتون سي »



(شكل ٦ – ٩)

منظر خارجي لأضخم مشروع لاستخلاص طاقة جوف الأرض بشمال ولاية كاليفورنيا الأمريكية حيث تم حفر ٢٠٠ بئر واقامة ١٧ محطة لتوليد الكهرباء اجمالي قدراتها ١٢٥٠ م.و .



(شكل ٦ – ١٠)

دورة استخلاص جوف الأرض الثنائية مع استرداد (استرجاع) عادم التوربين وباستخدام مائع من غاز الايزوبوتين .

شرح لبعض المصطلحات التي وردت بهذا الفصل

- **دورة الوميض المباشرة Direct Flash Cycle** : هى تقنية أسست على انتاج البخار الجوفى بخفض الضغط على الماء الحار الى نقطة أقل من التى يغلى عندها الماء • والبخار الناتج يمكن استخدامه لادارة توربين لتوليد الكهرباء •

- **التوربين ذى الفاصل الدوار Rotary Sparator Turbine**
وهى آلة تستخدم اسطوانة drum دوارة وتوربين مائى لفصل البخار عن الماء الحار حتى يمكن استخدام كلاهما لتوليد الكهرباء •

- **محطات الدورة الثنائية Binary Cycle Power Plants**
هى دورة من مرحلتين (طوربن) فى الأولى يتم نقل الحرارة من ماء خارج من باطن الأرض وحار (ساخن) بدرجة متوسطة الى مائع Fluid ثان له درجة غليان أقل • وعند غليان هذا المائع الثانى فان البخار الناتج يتمدد ويدير (يحرك) توربين بخارى الذى يدير مولدا كهربائيا لتول ، طاقة كهربائية •

الفصل السابع

الكتلة الحيوية Biomass

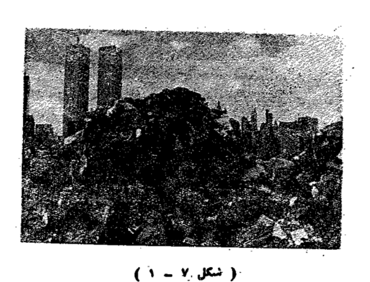
« متى لا تكون النفايات والمخلفات حقا نفايا ومخلفات ... ؟ » سؤال قد يثير بعض الدهشة لأول وهلة ... ولكن مع ذلك يمكن الاجابة عليه ببساطة تامة ... وهذه الاجابة هى « عندما تحتوى على مادة عضوية كافية أو كتلة حيوية لتوليد الطاقة » .

وسواء كانت تلك النفايات صلبة أو ماء صناعى فائض أو متخلفات زراعية أو سمادا من الحظائر فانه بالامكان معالجة الكثير من هذه المواد باستخدام « التخمر البكتيرى » أو « الاحتراق الحرارى » أو تحلل الكائنات الحية المجهرية . ويعطى كل أسلوب منتجاته الخاصة به مثل الميثان (وهو مركب رئيسى لغاز مواقد الطهى) والكحول والبخار (المولد من الميثان) وبديل الخث الطحلبى وعلف الحيوانات والأسمدة الكيماوية السائلة . وتساعد أساليب تحويل الكتل الحيوية هذه أيضا على حل مشاكل بيئية معينة .

ومع تزايد السكان فى جميع أنحاء العالم وزيادة الفضلات - بجميع أنواعها - أصبح التخلص من هذه النفايات أمرا ملحا فى كل المجتمعات وكانت الوسيلة الرئيسية هى حرق هذه الفضلات وفعلا تلاحظ ذلك وبشكل متزايد فى التجمعات السكانية فى كل مكان فى العالم وكان من المنطقى جدا الاستفادة من هذه النفايا فى نواحى متعددة منها الأسمدة الزراعية وتوليد الطاقة وغير ذلك من الأهداف الاقتصادية . ولكن يتبقى التحدى الكبير ... الا هو التلوث البيئى .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية - وهى قمة العالم الرأسمالى والاستهلاكى ومن ثم فمعدل الفضلات المتخلفة موزعة على كل فرد هو أعلى معدل فى العالم (معدل الفرد من المخلفات الصلبة يبلغ حوالى ٣ كجم يوميا) دون شك حتى أصبح التخلص من هذه النفايا مشكلة قومية .. !! ولعل أبلغ تعبير عما وصلت اليه أزمة التخلص من النفايا أزمة السفينة الايطالية التى أخذت تجوب شواطىء البحر الأبيض المتوسط فى أغسطس

١٩٨٨ لمحاولة افراغ حمولتهـا من المخلفـات الكيماوية وتلك المأساة البائسة ـ والتى حدثت عام ١٩٨٧ ـ للصندل العائم « موبرو » وهو صندل (سفينة) لجمع النفايا من « لونج آيلاند بنيويورك » والتى كانت تجوب السـاحل الشرقى لتجمع وتقوم بتكويم النفـايا وانقلبت أخـيرا بحمولتها فى البحر . والولايات المتحدة وحدها عليهـا أن تتخلص من ٤٠٠ر٠٠٠ طن يوميا من النفايا وحيث أن ساحات دفن النفايا المتاحة قد تشبعت بما فيها وأصبح الحصول على ساحات جديدة مشكلة عويصـة لذلك يتزايد حرق المجتمعات ـ يوما بعد يوم ـ على الرغم من قوانين البيئة والتى توجب بناء محطـات صغيرة (وحدات) لحرق هذه النفايا وتحويلها الى طاقة . وسرعان ما تحولت هذه العملية ـ والتى قد تبدو لبعض منا عملا بسيطا ـ الى مجال كبير لنشاط رجال الأعمال الأمريكيين حتى وصل عدد محطات حرق القمامة فى الولايات المتحدة الى ٦٠٠ محطة فى الخطة أو تحت الانشاء حتى عام ١٩٨٨ وسعة كل من أكبر من ٤٠ طن فى اليوم (ربما ٦٠٪ أو أكثر) بتوليد الطاقة الكهربائية وتغذيتها الى الشبكة الكهربائية المحلية .



(شكل ٧ ـ ١)

حرق القمامة مدنيه يمكن أن تسهم فى حل مشاكل البيئـة الطاقة .

تشمل الكتلة الحيوية كل من النباتات ــ الأسمدة ــ والنفايا (الفضلات) العادية • ويمكن تجهيز خامة (أو مخزون) الكتلة الحية المتغذاة Biomass Feedstocks وتحويلها الى وقود سائل ــ غازى ــ أو صلب • ويعتبر الايثانول Ethanol واحدا من أفضل أنواع الوقود المستخلصة من الكتلة الحية وهو يستنبط (يستخرج) من محاصيل الذرة والمحاصيل السكرية • ويمكن خلط (مزج) الايثانول مع الجازولين لانتاج « الجازوهول Gaschol » وتجرى التجارب باستمرار لايجاج وسائل اقتصادية لاستخدام الكتلة الحية فى توليد الكهرباء • وأحد هذه الطرق ــ على سبيل المثال ــ بحجز غاز الميثاق المنطلق من المواد النباتية الذابلة decaying وكذلك المخلفات الحيوانية • واستخدام هذا الغاز كوقود فى الغلايات البخارية •

هنالك تجارب أخرى ــ والتى تستهدف توليد الكهرباء من الكتلة الحية ــ تشمل عملية محكمة (مسيطر عليها) لحصاد الأشجار أو النباتات الأخرى بهدف انتاج وقود للغلايات الا أن المساحات الواسعة المطلوبة لانتاج كميات معقولة من الوقود تعتبر احدى المشاكل والمعوقات فى سبيل ذلك • فعلى سبيل المثال نحتاج الى حوالى ١٣٠ر٠٠٠ (مائة وثلاثين ألف) كيلو متر مربع من الأراضى لزراعة قصب السكر الذى يكفى لانتاج الوقود اللازم لتشغيل محطة كهرباء بخارية قدرتها ١٠٠ (مائة) ميجاوات ٠٠٠ !!

هنالك حل افضل من وجهة النظر العملية ــ وهو الاستخدام المشترك أو اقتسام منتجات الغابات ما بين الصناعة والكهرباء • فمثلا تستخدم الصناعة (صناعة الورق على سبيل المثال) ما تحتاجه فقط من الأشجار وتغذى ما تستغنى عنه بعد ذلك الى محطات الكهرباء لحرقه ونود أن نذكر هنا أن احدى مؤسسات الكهرباء بمنطقة السهول العظمى بالولايات المتحدة الأمريكية تقوم بعمل تجارب لحرق الغلاف الخارجى لزهرة عباد الشمس فى داخل غلاية مصممة أصلا لحرق الفحم لتوليد الكهرباء •

ويمكن حرق الأخشاب مباشرة داخل الغلايات أو بتغييزها أو تحويلها الى وقود غازى يمكن حرقه داخل غلايات صناعية كبديل عن الغاز الطبيعى أو المازوت • ويمكن تحويل الأخشاب الى وقود سائل كذلك يشبه النفط الا أن عملية التجهيز اللازمة لذلك (لتحويله الى وقود

سائل) أكثر تعقيدا ٠ وعلى الرغم من أن العديد من مؤسسات الكهرباء الصغيرة استخدمت الخشب بنجاح كوقود أولى لتوليد الكهرباء منذ فترة طويلة الا أن استغلالها فى المحطات الكبيرة ما زال فى مراحل التجريب ٠

والنفايا – أو الفضلات – المستخدمة كمصدر للوقود يمكن أن تحل فى نفس الوقت مشكلتين هما توليد الطاقة الكهربائية وكذلك التخلص من هذه النفايا ٠ الا أن التكلفة الباهظة لجمع هـذه النفايا هو أحـد المشاكل الكبيرة ٠

وحقا ما يقول الباحثون والمهتمون بشئون الطاقة عن « أنه يمكن للصناعة أن تلعب دورا هاما فى ترشيد الطاقة من خلال حرق المخلفات من الكتل الحيوية الناتجة أثناء عملياتها التشغيلية ٠ مثـال آخر هو استخدام الفواقد فى الأسماك والفضلات الآدمية فى توليد غاز الميثان للاستعمال فى المطابخ المنزلية أو فى ثلاجة تعمل بالغاز لحفظ السمك لحين نقله علاوة على استخدام هذه المخلفات فى انتاج السماد البلدى ٠ ويمكن استخدام هذه المخلفات اما مركزيا لتزويد مجمع سكنى بالغاز أو فرديا على مستوى الوحدة السكنية المستقلة فى القرى ٠ كما يمكن استغلال الفضلات الصلبة فى معالجة الأسمدة الطبيعية ٠

وبلغة الأرقام يمكن أن نقول بالنسبة لاستخدامات الكتلة الحيوية ما يلى : –

– استخدامات الطهى وتسـخين الميـاه للأغراض المنزلية ٠ فمثلا باستخدام حيز حجمه ١٥ متر مكعب للحريق يكفى لتوليد ٣ × ١٠^١٠ جول سنويا لأعمال الطهى وتسخين المياه اللازمة لمنزل قروى عادى ٠

– توليد الكهرباء بالحرق المباشر ٠ ويمكن استغلال المخلفات بكل أشكالها (الصلبة – السائلة أو الغازية) ويمكن – على سبيل المثال أنه يكفى مجمع سعته ٦٠٠٠ طن/يوم من المخلفات الصلبة تشغيل محطة قدرتها – فى المتوسط ١٠٠ ميجاوات ٠

– انتاج غاز ذى قيمة حرارية عالية من الفضلات الصلبة علاوة على انتاج أسمدة ووسائل معالجة التربة ٠ فعلى سبيل المثال يمكن بحرق ١٠٠٠ طن يوميا من المخلفات الصلبة انتاج غازات بقيمة حرارية تبلغ حوالى ١٫٣٦ × ١٠^١٢ جول يوميا (تعادل الطاقة المستخلصة من حوالى ٣٠طن نفط مكافىء يوميا) علاوة على ٤٠٠ طن يوميا من الأسمدة ووسائل معالجة التربة ٠

تقنيات حرق النفايا (المخلفات)

تستخدم محطات حرق النفايا تقنيتان رئيسيتان هما :

ـ الوقود المستنبط من النفايا Refuse-Dervid Fuel — (RDF) والمثير للتعجب هنا أنه ـ وبينما باستخدام الوسائل المشار اليها

ـ الحريق الكمى للنفايا دون Mass Burn of Unsorted Garbage وهنـــالك فصـــيلة ثالثـــة والتى تســـمى « الحارقات النمطيـــة » Modular Incinerator والتى تتضمن وحدات حرق كمية mass صغيرة لخدمة ـ على سبيل المثال ـ المستشفيات والمصانع الصغيرة ٠

وتحرق « حارقات الوقود المستنبط من النفايا RDF الفضلات والتى يسبق علاجها لتصبح بشكل « كريات Pellets » ذات شكل منتظم فبعد فرزها جيدا من خلال شـبكات screens ـ فاصـــلات separators مغناطيسية علاوة على الأيدى البشرية ثم بعد ذلك تشكل على هيئة كريات ثم تجفف بعد ذلك اما أن تحرق هذه الكريات فى الموقع أو يتم بيعها لمؤسسات أخرى لاستخدامها كوقود اضافى ٠ وكما يذكر أحد المتخصصين باحدى كبريات شركات صناعة الغلايات فى العـــالم (شركة كومبسش انجنيرنج) أن تقنية (RDF) تلائم بشكل أفضل من تقنية الحرق الكمى حيث تفرز المعادن والمواد الرائجة Marketable وتستبعد وذلك قبل عملية الحريق هنالك كذلك ميزة هامة فى تقنيـــة RDF وهى كلما قلت (صغرت) المســـاحة السطحيـــة للكريات Pellets كلما احتاجت عملية الحريق الى قدر من الهواء أقل ٠ ومن ثم حجم أصغر للغلايات ٠

وحيث أن الغبار المتطاير والذى يحيط بعملية طحن المخلفات (النفايا) كما هو الحال فى الهرى البرجية (ذات المصعد) grain elevators المستخدمة لخزن الحبوب ـ مما قد يؤدى الى جو قابل للانفجـار حتى أن الشرارات Sparks والناتجة من اهتزازات الواحين يمكن أن تسبب فى حدوث انفجارا لذلك تضع محطات RDF باسطح roofs ذات امكانية للتصريف (التهوية) blow-off roofs وعلى الرغم من أن محطات RDF عرضة للمشاكل التى تخلفها ثانى أكاسيد النتروجين والكبريت ـ والتى تتكون عنـــد الحريق غير الكامل للمواد ٠ الا أنه بالتصميم الجيد يمكن التغلب على هذه العقبة ٠ وعلى الرغم من أن ســعة المحطات RDF تمثل ٣٩٪ من اجمالى السعة المركبة لمحطات حرق

النفايات بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٨٦ ٠ الا أن أغلب الطلبات لانشاء محطات جديدة من « الحريق الكمى » بحيث يتوقع أن تنخفض نسبة سعة محطات RDF الى ١٣٪ فقط من اجمالى السعة المركبة لمحطات النفايات بالولايات المتحدة الأمريكية بعد عام ١٩٩٠ ٠

اما محطات « الحريق الكمى » فهى كما يتضح لنا من التسمية عبارة عن أفران لحرق النفايات من كل شىء بدا من الأقمشة والسجاجيد المخملية حتى المسبوكات المعدنية (من ثلاجات ـ سيارات ـ آلات ٠٠ الخ) ٠ فتقوم الشاحنات (سيارات اللورى) أو الصنادل البحرية بتفريغ حمولاتها فى ساحة تجميع النفايات ومنها تذهب الى مستودع أو مخزن وقود Bunker وتتولى رافعة (ونش) مزودة بكلاب (كباش أو خاطوف grapple) خلط أو مزج النفايات ونقل مجموعات (حزم) منها الى قادوس (صندوق قمعى الشكل قاعدته أضيق من فوهته (hopper) حيث تغذى النفايات بعد ذلك الى شبك من القضبان الحديدية (هيكل مضبعى grate)) متحرك والتى تحمل النفايات الى غرفة الحريق حيث يمكن أن تكون درجة الحرارة ١٦٥٠° م أو أعلى ٠ والمعاملات الرئيسية للحصول على حرق « نظيف » للنفايات هى كل من درجة الحرارة ـ زمن الحريق والتحكم فى الحركة الدوامية turbulence داخل الفرن فيمكن أن تكون مركبات عضوية سامة عندما تحترق المواد بشكل كامل يكفى لتكوين كل من الكربون والماء ٠ وللتقليل من هذه النتاجات من الحريق غير الكامل Products of Incomplete Combustion (PIC) ينبغى للنفايات أن تحرق عند درجة حرارة ١٨٠٠ درجة فهرنهيت (٩٨٢° مئوية) أو أعلى لمدة ثانية واحدة ٠ وعلى الرغم من أن تكوين المركبات العضوية السامة مثل « الديوكسن » مازال غامضا لحد ما الا أن المكون (أو المحتوى العالى للنفايات من الكلورين لايزال معتقدا أنه المشكلة ـ أو السبب الأكبر ـ لتكوين المنتجات السامة ٠ لذلك يقترح البعض حقن « كربونات أو بيكربونات الصوديوم » فى الغاز المتصاعد عند درجة حرارة معينة (تترواح من ٥٢٨ الى ١٥٦٤ درجة فهرنهيت) وبذلك يتفاعل الكلور فى الغاز مع الصوديوم لتكوين كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) ٠ وهذه العملية يمكنها ـ علاوة على ذلك ـ التخلص من ثانى أكسيد الكبريت تاركة « كبريتات وكبرتور صوديوم » والتى تستخدم كمواد حافظة للفواكه المجففة ٠

فبينما كانت محطات النفايات القديمة صغيرة الحجم تستخدم حرارة الحريق لانتاج البخار بواسطة غلايات من الطراز الأوروبى المقاوم للحرارة

نجد أن معظم المحطات الأكثر حداثة تستخدم غلايات ذات مواسير مياه (مملوءة بالمياه) والتى تبطن ــ غـرفة الاحتراق ومن ثم تمتص الحرارة المولدة داخلها ويخرج الرماد من خلال فتحات الهيكل المصبعى (الشبك المكون من قضـبان حديدية grate ويطلق عليـــه « رماد القــاع » "Bottom Ash" . وفى هذه الأثناء تتصاعد الغازات المكونة داخل غرفة الحريق حيث تمر خارج الغلاية خـلال منقيات (منظفات) للغـــازات Scrubbers والتى تقوم بمعادلة neutralize أى كيماويات حمضية تحتويها هذه الغازات .

ويجدر الاشارة هنا الى أنه ــ وقبل تفاقم مشكلة الأمطار الحمضية ــ فلم تكن مؤسسات تحويل القمامة الى الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية مطالبــة بتنظيف (تنقية) الغازات الحمضية وحاليا ــ وعلى الرغم من اختلاف النظم والتشريعات من ولاية الى أخرى الا أن جميع المحطـــات الجديدة تستخدم نوعا ما من نظم أجهزة غسيل غازات الاحتراق بهدف التخلص من تلك المواد الحمضية مثل ثانى أكســيد الكبريت وكلوريد الهيدروجين .

والنظام الرئيسى المستخدم فى الولايات المتحدة الأمريكيــة هو أجهزة غسل الغازات الجافة Dry Scrubbers (والذى يعرف كذلك باسم المجفف الرشاش (Spray-dryer) والذى يستخدم تراب جيرى (من الجير) عالى القلوية ــ وذلك لمعادلة الأحماض . كذلك يمكن للمنظف أن يساعد فى احتجاز المعادن الثقيلة والمركبـــات العضوية السامة . وبينما تبرد درجة حرارة غاز الاحتراق قبل دخوله الى جهاز غسيل الجهاز تتكاثف هذه الملوثات ــ والتى أشرنا اليها ــ لتصبح على هيئة دخان من جزئيات الدقيقة يتم اصطيادها بعد ذلك بالمرشحات أو المرسبات Precipitators

وتستخدم كثير من المحطـات فى كل من أوروبا واليــابان أجهزة غسل الغازات المرطبة « المبللة » حيث تقوم المياه بتبريد غازات العادم . وتتميز هذه النوعية من الأجهزة بالتخلص من نســـبة مئـوية أعلى من ثانى أكسيد الكبريت ــ وبطريقة ليست باهظة التكلفة نظرا لاستخدامها الحجر الجيرى والأقل تكلفــة من الجير . ولكن هذه الأجهزة تخـــرج (أو تنتج) ١٨ طن كل ساعة من مياه الصرف الحمضية وتحتوى على نسبة عالية من الكلوريدات . لذلك فان النقد الموجه لهذه النوعية هو أنها تخلق مشكلة تلوث جديدة وتحتـاج الى تكلفــة باهظـة لمعالجة

هذه المياه قبل التخلص منها (حتى لا تلوث التربة والميـــاه الجوفيـة أو مجاري المياه التى ستصرف اليها ٠٠ الخ) ٠ أما المدافعون أو المحبذون لنظم غسيل الغازات الجافة فحجتهم الرئيسية انه لو فشلت مضخة المياه فى عملها فيمكنها فضل (أو غلق Shut-down) المحطة بأكملهـا ٠ وفى العادة تستخدم أجهزة غسل الغازات Scrubbers أما مع مرسبات الكتروستاتيكية Electrostatic Precipitators أو مع عنبر أو مجاميع أكياس من الأليـاف الصناعيـة Baghouse وكلاهمـا يتولى اصطيـاد جزيئـات الرماد المتصاعدة ٠ أما المرسـب الالكتروستاتيكى (ESP) فيخلق مجال كهروستاتيكى والذى به تشحن الجزئيـــات العالقة فى الهواء ثم بعـــد ذلك تجذب (بشـــد) هذه الجزيئات نحو لوح جامع Collecting Plate ٠ ٠ أو الكترود ٠ أما مجمـوعات أو عنبر الأليـاف الصناعية Baghouse فهو عبارة عن مجموعات من المرشـــحات مـن الألياف الصناعية والتى تتصيد جزيئات الرماد العالقة فى الهواء داخل أنسجتها (جدير بالذكر أن بعض محطات حرق القمامة القديمة ـ والتى تم بناؤها قبل التشريعات الخاصة بالأمطـار الحمضية ـ كانت مزودة بمرسبات الكتروستاتيكية ESP للسيطرة على جزيئـــات الرماد ولكنهـــا لم تـكن مزودة بأجهزة لتنظيف الغـــازات (Scrubbers) أما ما يحتجز داخل هذه المرسبات أو حقائب الألياف الصناعية هو ما تطلق عليه « الرماد الطائر "Fly Ash" » ٠ ٠

والمثير للتعجب هنا أنه ـ وبينما باستخدام الوسائل المشار اليها عاليه ـ للسيطرة على جزيئات الرماد العالقة فى غازات العادم وتجميعها بكفاءات عالية ـ الا أن مشكلة الطريقة المناسبة للتخلص من الرماد الذى يتم جمعه « تحظى دائما بالمناقشات والحورات الساخنة ٠٠ !! فالرماد الطائر المتراكم فهو فى العـــادة يكون مبللا wetted وممزوجا برماد القاع حيث يدفن داخل ساحات حيث يكدس مع مخلفات أخرى أو يدفن فى ساحات ـ مصممة لتستوعب نوعا واحد فقط من المخلفات ٠ وطبعا هذا يوضح لنا خطأ الاعتقاد الشائع بأنه يحرق النفايا يتم اختفاؤها ببساطة ٠ ولكن يمكن ان نقول ببساطة أنه من حيث الحجم يتخلف قدرا من الرماد يعادل حوالى $\frac{1}{8}$ الحجم الأصلى للنفايا أما من حيث الوزن فان وزن الرماد المتخلف يصل الى ٣٥٪ من الوزن الأصلى للنفايا ٠٠ !! هذا الرماد المتخلف قد يحتوى على ثوانى الاكاسيد ونواتج غير كاملة الاحتراق (PIC) وهى عبارة عن معادن ثقيلة مثل الرصاص والكادميوم والزرنيخ وهى شديدة الخطر على البيئة (فالرصـــاص يمكن أن يدمر

الجهاز العصبى أما الكادميوم والزونيخ يمكن أن تؤدى الى الاصـــابات بالسرطان) ٠

حرق النفايا ٠٠ انتاج للطاقة وتلوث للبيئة

وعلى الرغم من أن تقنية محطات توليـد الطاقة من القمامة تواجه نفس المصاعب ـ سواء كانت فنية ـ تنظيمية (أو تشريعية) وسياسية ـ شأن محطات توليد الطاقة التقليدية الا أن هنالك بعض القضايا تبرز مع هذه النوعية من المحطات ٠ فعلى خلاف معظم محطات توليد الكهرباء الأخرى فنجد أن أفران حرق النفايا البلدية Municipal تقوم بحرق خليط من المواد وبما تتضمن كميات كبيرة من اللدائن (البلاسـتيك) والتى ينتج عنها منتجات ثانوية سامة ٠

وعلى الرغم من أن محطات القوى الحرارية التقليدية ـ والتى تحرق أنواعا من الوقود الحفرى ـ يمكن أن تلوث الهواء الجوى ـ هذا اذا لم تتخذ الاجراءات المناسبة للتقليل من هذا الأثر ـ ولكن فى حالة محطات حرق النفايا فالأمر أخطر كثيرا ـ اذا لم يتم التحـكم فى أفران الحريق حيث يمكن أن يؤدى الأمر الى تسمم الكوكب الذى نعيش عليه ٠٠٠ !! ٠

والنفايات المنزلية ـ فهى عجيب أمرها ـ ولعلها تذكرنا بقصـــة دكتور جيكل ومستر هايد الشهيرة ٠ فهى بدون أثر ضار تقريبا حتى تتحول بالحريق الى رماد ٠ ثم تسفر عن وجه كريه عند ذلك عندما يتكوم الرماد بالمعادن الثقيلة والكيماويات السامة Contaminate ٠ وحيث أن معظم الرماد يدفن ـ مع النفايا الأخرى داخل ساحات الدفن الخاصة بالبلديات لذلك يخشى المسئولون عن الحفاظ على البيئـة من تسرب هذه التراكمات Contaminants الى المياه الجوفية ٠

وعلى الرغم من أن القدرة الكهربائية الخارجة من محطات النفايا أو القمامة صغيرة بالنسبة لحجمها الا أنه أمكن الحصول على قدرة تعادل ٦٠ م٠و٠ من بعض المحطات الكبيرة (محطات ذات سعة ٣٠٠٠ طن يوميا من المخلفات مثلا) ٠ وحيث أن المستهدف من هذه المحطات ليس أساسا لتوليد الكهرباء بقـدر ما هو للتخلص من كميات كبيرة من النفايا ومن ثم ففى العادة يكون التمييز بين أحجامها على أساس المعدل اليومى لطاقة الحريق داخلها ٠ ولقد دخلت شركات عالمية عديدة فى هذا المجال ـ وهو

مجال محطات حرق القمامة ـ من بينها أسماء معروفة جدا لدى مهندسي الطاقة الكهربائية أمثال :

ـ كومبستشن انجنيرنج	Combustion Engineering
ـ وستنجهاوس الكتريك	Westinghouse Electric Corp
ـ جنرال الكتريك	General Electric Corp.

ولقد اضطرت الولايات المتحدة أن تستورد جزءا كبيرا من تقنية هذا المجال من كل من أوروبا واليابان وخاصة بالنسبة لحرق المواد الصلبة .

وجدير بالذكر فانه ـ في دراسة للنفايا وجد مثلا أن النفايا الأوروبية تحتوى على محتوى حرارى (من الوحدات الحرارية) يقل عن النفايا الأمريكية ـ ذات اللدائن البلاستيكية بحوالى ١٠٪ وعلى كل فان مجال العمل فى حرق القمامة يعتبر من الأعمال المزدهرة حاليا وخاصة فى الولايات المتحدة الأمريكية حتى أن الاجمالى ما أنفق من استثمارات على هذا المجال فى الولايات المتحدة الأمريكية وحدها خلال عامين (١٩٨٥ ـ ١٩٨٧) وصل الى حوالى ٢ بليون دولار ... !! وهذا الرقم يعادل تقريبا ما سبق انفاقه فى هذا المجال خلال ١٥ عام السابقة وعلى سبيل المثال فيمكن ان تصل الاستثمارات لانشاء محطة ضخمة من هذا النوع الى ٣٠٠ مليون دولار . وتقدر احدى مؤسسات أبحاث التسويق أنه فى خلال العشرة أعوام القادمة (بدأ من عام ١٩٨٨) سوف يصل حجم الاستثمارات داخل الولايات المتحدة وحدها ـ والمتوقع انفاقها فى هذا المجال ـ شاملا المعدات ـ أعمال الانشاءات وغير ذلك ـ سوف تتجاوز عشرين بليون (ألف مليون) دولار ... !!

وكما يقول أحد المتخصصين فى الكيمياء الحيوية ببرنامج الكيماويات السامة « التابع لصندوق الدفاع (حماية) عن البيئة Environmental Defense Fund (EDF) الأمريكى بواشنطن العاصمة ـ أن أفران حرق النفايا تعمل كما لو أنها « مسابك أو أفران للصهر » حيث تتحرر المعادن وتنفصل عن الأشياء العادية الأخرى . ويمكن لسلطانية (طاسة أو قصعة bowl) من البلاستيك أن تستقر داخل ردم ترابى بالأرض لعدة قرون من الزمان . الا أن عملية الحرق من شأنها أن تطلق (تخرج) الكادميوم من البلاستيك وتركز هذا المعدن الثقيل السام داخل جزيئات دقيقة من الرماد .

وحديثا أجرى صندوق دفاع (حماية) عن البيئة "EDF" عملية مسح على ١٠٠ محطة لحرق القمامة أسفرت عن الكشف عن حقيقة وهى أن المحتوى من الرصاص والكادميوم داخل الرماد الطائر يزيد كثيرا عن الحدود المسموح بها بالقوانين الفيدرالية للولايات المتحدة الأمريكيـــة بينما على العكس من ذلك بالنسبة لرماد القاع • ومن ثم فان مزج نوعى الرماد ـ الطائر والقاع ـ يمكن أن يخفف الأثر السام للرماد المتطاير • الا أنه ـ كما يقول كثير من المتخصصين ـ لايزال الأمر خطيرا • !!

وتنص تشريعات « صندوق حماية البيئة الأمريكى » EDF « صراحة على أن » على المسئولين عن تشغيل محطـات النفايا أن يقوموا باجراء الاختيارات على الرماد واذا فشل الرماد المتبقى فى تحقيق القيم المنصوص عليها في اللوائح فينبغي اعتباره مادة خطرة وبالتالى دفنه فى الأماكن المخصصة لذلك Hazardous-waste Dumps الا أنه ـ وللأسف الشديد ـ من الناحية العملية لا تجرى هذه الاختبارات بشكل روتينى ـ وحتى لو أجريت هذه الاختبارات فدائما يتجاهلون النتائج ••• !!
٢٠٠

ويبين الشكل (٧ ـ ٢) محطة « حرق كمى » تقليدية حيث :

ـ تمزج النفايا ثم ترفع ـ بواسطة رافعة (ونش) الى صندوق قمعى الشكل (قادوس hopper) •

ـ يقوم دفاع ram Feered بدفع النفـايا الى هيكل مصبعى (شبك بالقضبان الحديدية grate) مائل والتى تقلبهـــا داخـل اللهب (النار) •

ـ يسقط الرماد ـ من خلال الهيكل المصبعى grate الى حوض trough مملوء بالماء •

ـ الحرارة الناتجة عن حرق النفاية تستخدم لتوليد البخار داخل للغلاية حيث يستخدم البخار لادارة توربين بخارى لتوليد الكهرباء •

ـ تمر غازات الحريق خلال جهاز غسيل الغازات Scrubbers

ـ يقوم جهاز جمع الغبـــار Dust Collector بالتخلص من الرماد العالق بالهواء •

ـ تمرر الغازات ـ بعد ذلك ـ الى المدخنة •

(شكل ٧ - ٢)

محطة حرق لنفايا من الطراز الكمي حيث تمزج (تخلط) النفايا ثم ترفع بواسطة رافعة (ونش) الى قادوس وترفع النفايا الى قضبان حديدية متدحرجة ومائلة للتقليب داخل اللهب ٠

تقنيات انتاج الغاز الحيوى والميثان

ان تقنية انتـاج غاز الميثان من الفضلات الزراعية معروفة طوال سنين عديدة لكن غاز الميثان أصبح طاقة بديلة قابلة للتطبيق خلال أزمة النفط فى السبعينات فقط حيث أخذت الكثير من الشركات فى التركيز على انتاج الغاز الحيوى الذى يعطى حوالى ٦٠٪ ميثان ٠ وهنالك تساؤل قد يعن للبعض منا وهو « لماذا نجد أنفسنا أحيانا مضطرين لاستعمال النفايات لتوليد الطاقة بدلا من الاستفادة منها فى عمليـات صناعية ٠ والاجابة ببساطة هى الجدوى الاقتصادية من نقل هذا « الخام » جنبا الى جنب مع الاعتبارات البيئية ــ هى التى تحدد ذلك ٠ وفعلا قد تكون معالجة النفايات مربحة أيضا وتشمل المنتجات الثانوية للغاز الحيوى : الايثانول أو الكحول الاثيـلى الذى يخلط مع البنزين ليعطى الجازهول والميثان لتوليد الكهرباء أو البخار والمعادن المستخلصة خاصـة المعادن الباهظة الثمن الخالية من الحديد ٠

ولقد أصبح الغاز الحيوى أيضا تجارة دولية ومن بين الدول التى تعمل فى هذا المجال حاليا سنغافورة ــ أمريكا اللاتينيـــة والكثير من الدول الأوروبية (فمثلا أقيم فى ايطاليا معمل وفى يوغوسلافيا معملين)٠ ويجرى حاليا انشاء معمل للغاز الحيوى بالولايات المتحدة الأمريكية تبلغ تكلفته حوالى مائة مليون دولار ٠

وجدير بالذكر أن بعض الدول قد استخدمت غـلاف بذور القطن كوقود حيث أمكن بحرق ١٠٠٫٠٠٠ طن منها سـنويا باستخدام غلاية بخارية ذات قاعدة مسيلة ــ بسعة ٢٧ طن/ساعة وتشمل الاستخدامات المختلفة للغاز الحيوى التوليـــد المشترك Cogeneration للحرارة (البخار أو الماء الساخن) والكهـرباء ٠ وكذلك يمـــكن لبعض آلات الاحتراق الداخلى أن تعمل باستخدام الغاز الحيوى لتوليد الكهرباء وفى الوقت ذاته تختزن حرارة المحـرك لتسخين الماء حتى درجة ٩٠° مئوية وهى درجـة تكفى للتعقيم فى صـناعة المواد الغذائيـة أما ما يزيد من الطاقة الكهربائية فيمكن بيعه لشركات وهيئات الكهرباء ٠

كذلك يمكن استخراج الحرارة عن طريق مبادلات حرارية تقليدية واستعمالها لأغراض أخرى ٠ ويمكن انتاج غاز الميثان عن طريق الهضم اللاهوائى (أى بدون آكسجين) للفضلات الحيوانية والنباتية ٠ وفى أثناء هذه العملية ــ عملية الهضم اللاهوائى ــ تتفتت مواد عضـــوية

معقدة ـ بفعل البكتريا ـ ليتكون ما يطلق عليه « بالغاز الحيوى » والذى يحتوى على ٦٠٪ من الميثان وثانى أكسيد الكربون ٠

وتنتج هذه التقنية الجديدة كتلا حيوية عالية البروتين تستعمل كاضافة لعلف الماشية وتربية الأسماك فى البرك ٠ وكذلك كسماد كيماوى ومادة خام فى صناعة بعض المنتجات الصناعية ٠ وفى عملية التخمير اللاهوائى تعمل ثلاث مجموعات من الكائنات العضوية المجهرية على التوالى فتبدأ البكتريا المائية بتحليل النفايات ثم تليها البكتريا الأسيدوجينية (الحامضية) التى تنتج أحماض قصيرة التسلسل ومنها حامض الاستيك وتحول البكتريا الميثانوجينية الأحماض الى غاز الميثان ومنتجات ثانوية أخرى ٠

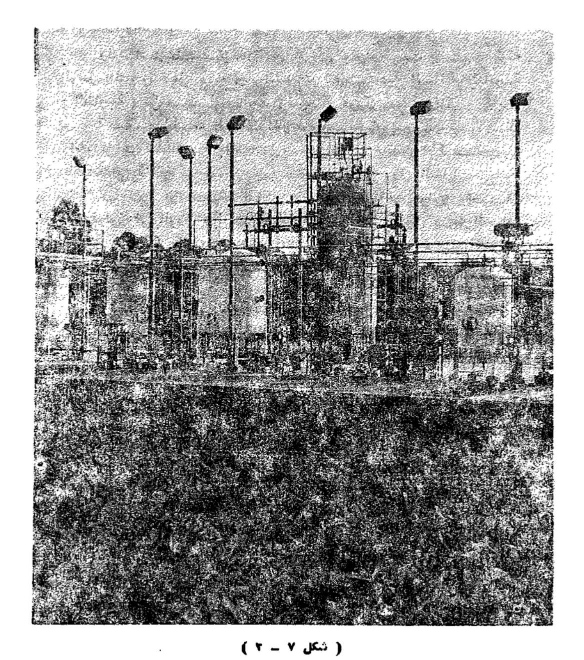
ولقد طورت طريقة التخمير اللاهوائى ـ حديثا ـ فباستخدام فضلات الحيوانات ومخلفات النباتات ـ متفصلة أو مجتمعة ـ لانتاج الغاز الحيوى الذى يحتوى على ما يتراوح ما بين ٦٠٪ الى ٧٠٪ ميثان ـ ثانى أكسيد الكربون ـ هيدروجين ـ كبرتيد الهيدروجين والنتروجين ٠ وينتج عن هذه العملية مركب صلب ذائب فى سائل التفاعل (يحتوى على ١٨٪ من المواد الصلبة مقارنة بالمحتوى الصلب العادى الذى يتراوح من ٣٪ الى ٥٪) وعلاوة على ذلك فانه لما كان معدل الهضم يعتمد على الحرارة ويعمل بصورة أسرع عند تسخين مزيج التفاعل فان نوعين من الهضم البكتيرى ـ بدلا من نوع واحد ـ يتم تشغيلهما فى عملية التخمير المتعددة المراحل :

ـ فالبكتريا التى تفضل الحرارة المتوسطة والتى يستخدم مداها الحرارى ٣٧° مئوية فى الأنظمة اللاهوائية العادية ٠

ـ والبكتريا التى تفضل الحرارة العالية والتى تتكاثر فى درجة حرارة تتراوح ما بين ٥٥° م ـ ٥٧° م ٠

وهذا الاجراء أكثر اقتصادا اذ يمكن استعمال راسب الغاز الحيوى ـ بعد تنقيته لفترة تتراوح ما بين ٨ الى ١٠ أيام تحت درجة حرارة ٥٥° م ـ كعلف للحيوانات وهناك منتج ثانوى آخر وهو وسيط جذرى يحتفظ بالماء ـ ومن ثم يمكن استخدامه فى الزراعة المكثفة (أو المحمية) ليحل محل الخشب الطحلبى الفنلندى ٠

ويطبق التخمير اللاهوائى أيضا فى معالجة النفايات البلدية الصلبة لأسباب بيئية أيضا ٠ فالأساليب العادية تحرق النفايات وتلوث الهواء ٠



(شكل ٧ ـ ٢)

وحدة اختبارات تستخدم لتقييم الجدوى الفنيـــة والاقتصادية لنظام متكامل لتحويل الماء الفائض الى غاز الميثـــان (مدينة والت ديزنى ـ فلوريدا الأمريكية)

وقد استخدمت هذه الوسيلة لمعالجة مياه الصرف الصحى ـ فى الكثير من بلاد العالم ـ لمدة طويلة وتجرى أبحاث لايجاد وسائل جديدة لجمع الوحل مع النفايا البلدية الصلبة لانتـاج كمية أكثر من الغاز الحيوى وبديل الخشب الطحلبى مع المعادن والزجاج ٠

ولقد استنبطت عمليـة تخمير هوائى جديد سميت باسـم « طبقة الوحل المتدفق لأعلى » لمعالجة النفايات الصـناعية السائلة الناتجـة (الخارجة) من صناعات معالجة الأغذية أو من أى مصنع فيـه نفايات عضوية ـ ومنها مصانع البيرة ـ المذابح ومصانع تعليب اللحوم والأسماك والفواكه ـ أما التخمير الكحـولى تحت ظروف نقص الأكسـجين ـ باستخدام الخميرة ـ فيمكن أن يستخدم لمعالجة ورق النفايات البلدية والنفايات كثيرة الأنسـجة (الأليـاف) ويحول السيلولوز ونصـف السيلولوز فى الورق وألياف النبات الى سكر عن طريق درجة الحرارة العالية والضغط العالى والتحليل بالمـاء المنخفض الحموضـة لفترات قصيرة جدا ٠ ويخمر هذا السكر الى كحولى اثيلى ٠

وتستخدم بعض الشركات أسلوب التخمير اللاهوائى لاستصلاح الغاز الحيوى والماء وذلك من الماء الفائض ويمكن لهذه الشركات استخدام الغاز الحيوى لسد احتياجاتها (أو جزء منه على الأقل) من الطاقة ومنها الطاقة الحرارية ٠

معالجة الماء الفائض من العمليات الصناعية ٠٠ وعملية بيوثين

عملية بيوثين هى عملية لمعالجة الماء الفائض من العمليات الصناعية وقامت بتطويرها الولايات المتحدة الأمريكية ٠ واستخدمت بنجاح كبير فى كثير من الصناعات الغذائية مثل :

- ـ صناعات التعليب ٠
- ـ صناعة الخميرة وتقطير الكحول ٠
- ـ صناعة النشا والبيرة ٠

حيث يعالج الماء الفائض بطريقة التخمير اللاهوائى ويستخدم الغاز الحيوى الناتج لدعم نظم الوقود أما التدفق Flow المعـالج يمـكن استخدامه فى الرى مثلا ٠

وعلى ســـبيل المثال يقابل كل لتر من البيرة من ٨ الى ١٠ لترات من الماء الفائض شديد التلوث ولذا فانه يجب معالجة الماء الفائض من المخلفات الذائبة شديدة التركيز من صناعة المواد الغذائية وباستعمال هذا الاسلوب تستطيع مؤسسات الأغذية التجارية حل مشاكل البيئة بالنسبة للماء المتدفق علاوة على امكانية ســد جزء كبير من احتياجاتها للطاقة من خلال انتاج الغاز الحيوى ٠ وتتم معالجة الماء الفائض مسبقا ويتم تعديل حموضته وبعدها يتم تركيز الماء واستخراجه من صــهاريج الوحل ٠ ومع أن هذه العملية تبدو وكأنها تستغرق وقتا طويلا الا أن منافعها تجعلها مجدية ٠ فناتج الطاقة الصافى يعتبر عال ٠ أما التحلل فيتم بسرعة ٢٪ فقط من المدة التى يتطلبهـا التخمير الهوائى ٠ وتتم العمليات فى حاويات containers مغلقة خالية من الروائح ويتبقى فقط ٢ الى ٣٪ من المادة العضوية بعد التخمير مقارنة بالرقم ٥٠٪ من المتخلفات فى محطات معالجة الماء التقليدى ٠

ويتكون الغاز الحيوى الناتج بعملية بيوثين من حوالى ٨٠٪ ميثان ، ٢٠٪ غاز ثانى آكسيد الكربون ويمكن لهذا الغاز الناتج أن يحل محل النفط اللازم للعملية الصـــناعية حتى أن احدى الشركات أوردت فى تقرير لها نشر فى عام ١٩٨٧ أن العائد من هذه العملية ــ بما فى ذلك الطاقة المنتجة وتكلفة المصنع لمعالجة الماء الفائض يمكن تغطيته ــ وفى ضوء أسعار النفط وقتذاك فى فترة أقل من ٥ سنوات ٠٠ !! أما تكلفة مرفق المعالجة فتعتمد على الحجم ولكن يمكن أن نقول أن تكلفة المرفق الذى يكفى لمعالجة ١ مليون متر مكعب سنويا من الماء بالتخمير اللاهوائى لن تزيد عن ٥ر١ مليون دولار بأسعار عام ١٩٨٨ ٠

هنالك منفعة أخرى لعملية بيوثين وهى تخفيف العبء عن مرافق البلدية حيث أن الدفق المعالج بهذه الطريقة يحتوى فقط على ٥٪ من المادة العضوية ٠

REFERENCES

A) *Chapter* **1 :** *Solar Thermal Energy*

1. Friefeld, J. M., and Others, *"Energy Storage Experience at Solar One"*, Proceedings of the 19th IECEC' 84 pp. 1727-1732, 1984.

2. Patterson M. R., and Perez Blanco, *"Sensitivity of Absorption Cycle Calculations to Fluid Property Errors Calculated Stochastically"*, Ibid, pp. 1739-1747.

3. Hamid Torab and Sonhtag R.E., *"Performance of an Integrated Heat Pump Gas Fired Water Heater System"*, Ibid 1771-1775.

4. EPRI, *"Solar Heating and Cooling"*, Energy Researcher Journal July 1982.

5. Sterrett, R. H., and Brzeczak, M. E., *"Prefeasibility Study for A Solar Thermal Central Receiver Power Plant for the Farafra Oasis, Egypt"*, Proceedings of the 20th IECEC-1985, pp. 3.87-3.92.

6. Nimmo, B.P, and El Hadidy, M.A., *"Concentration Gradients In Salt Gradient Solar Ponds"*, Ibid pp. 3.93-3.98.

7. Metwally, M. N. and Other. *"Performance Estimation of Cairo* Experimental Large Scale Gradient Solar Pond And Initial Construction Procedure", Ibid, pp. 3.99-3.105.

8. Holte, K.C., *"Operational Results of Solar One* 10 *MW Solar General Receiver Pilot Plant"*, Ibid, pp. 3-114-3.117.

9. Sutton, M. M., and Others, *"Solar Power For High Temperature Industrial Processes"*. Ibid pp. 3.134-3.142.

10. Francis De Winter and Gary Purcell, *"Energy Roofs And Similar Heat Sources For Residental Heat Pumps in NW Europe, And Their Applicability in US"*, Ibid, pp. 3.150-3.154.

11. Matsuki, K. and Others, *"Experimental Study of Solar Heat Pump System with Refrigerant Filled Solar Coolector"*, Ibid, pp. 3.155-316.0.

B) Chapter 2 : Photovoltaic Cells

12. Sutton, P. D., and Jones, G. J., *"Photovoltaic System Overview"*, Proceedings of the 20th IECES - 1985, pp. 3.98-3.404.

15. Wormser, P.M., and Bennett, E.F., *"Utility Connected Resident Photovoltaic Systems"*, Ibid, pp. 3.405-3.407.

16. Yerkes, J.W., *"Photovoltaics In The Twenty-First Century"*, Ibid., pp. 3.408-3.412.

17. Patapoff, N. W. *"Photovoltaic Power Plants In Utility Interactive Operations"*, Ibid, pp. 3.413-4.417.

19. Hogan, S.J., and wieler, W.E., *"A Production Process For The Manufacture of Photovoltaic Cells And Modules In Developing Countries"*, Ibid pp. 3.454-3.459.

20. Shimada, K., and Others, *"Potential of Thin Film* Solar *Cell Module Technology"* Ibid, pp. 3.460-3.465.

21. Healey, H. M., *"Evaluation of Stationary, Tracking And Concentrating Photovoltaic System Designs For An Intermediate Size Photovoltaic Project In Florida"*, Ibid, pp. 3.38 386-3.491.

CI Chapter 3 : Wind Energy

22. Hughes, L. and Others, "A *wind Energy Conversion and Storage System for Use in Underdeveloped Countries"*, 4th IECEC, Washington D.C., Sept. 1969, and Presented at Cairo in May 1973.

23. NASA, *"Wind Energy Developments in the* 20th *Century"*. Lewis Research Center, Clevland, Ohio, 1981.

24. Bradford. S. Linscott and Others, *"Large Horizontal* Axis Wind Turbines", DOE (USA), March 1984.

DI Chapter 4 : Tide Energy

25, Karas, A.N., *"System Planning for Bay of Fundy Tidal* Developments", IEEE Transactions on PAS Sept/Oct. 1978, PP. 1600-1606.

26. Lee, S.T.Y., and Dechamps, C., "*Mathematical Model for Economic Evaluation of Tidal Power in the Bay of Fundy*", Ibid, pp. 1769-1778.

27. Furst, G.B. and Sud, S, "*Raw Tidal Energy Absorption Capability of a Power System*", *Ibid*, 1910-1917.

E) Chapter 5 : *Ocean Thermal Energy Conversion*

28. Benjamin Shelpuk, "A 165 *KW OpenCycle OTEC Experment*", Proceedings of the 20th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Miami Beach, Florida, USA, August, 1985, pp. 3.43-3.50.

F) Chapter Energy

29. Maurice Richard, and John Pietriuszkiewice, "*Puna Geothemal Venture Project - Preliminary Plant Concept*", Pro*ceedings of the* 19th IECES' 84, pp. 1311-1318, 1984.

30. Leon Awerbuch, "*Ceothermal Fluids Process Technology*" *Ibid*, pp. 1319-1325.

31. EPRI, "*Geothermal Energy*", Researcher, January, 1984.

32. EPRI, "*Electricity from the Earth - Geothermal Energy*", Ibid.

33. DOE/NASA, "*Mod-*ᴛ *Wind Turbine System Development Final Report*" - Vol 1 - Executive Summary, Sept. 1982.

G) Chapter 7 : *The Biomass*

34. Asbury, J.G., "*Biomass Energy-A Technical And Economic Overview*", Proceedings of the 20th IECEC - 1985, pp. 1.551 1.558.

مراجع بالعربية

٣٥ ـ دكتـور فؤاد طاهر ، دكتـــور عثمان المفتى « توليد الطاقة من المصادر غير التقليدية » وقائع مؤتمـر مجلس بحوث الطاقة ـ أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ـ القاهرة فى مايو ١٩٠٣ ص ٧٦ ـ ٨٥

٣٦ ـ دكتور محمود صبرى أبو حسين « **استخدامات الطاقة الشمسية** » نفس المصدر ص ٨٦ ـ ٩١ ٠

٣٧ ـ دكتـــور ابراهيم أحمد صقر « **اســتغلال الطاقة الشمسية فى جمهورية مصر العربية** » نفس المصدر ص ٩٢ ـ ٩٤ ٠

٣٨ ـ دكتور فؤاد طاهر « **اســـــتغلال طاقة الرياح** » ـ وقائع المؤتمـر الثانى لمجلس بحـــوث الطـــاقة ـ القاهرة فى مايـــو ١٩٧٥ ص ٢٠ ـ ٢٥ ٠

٣٩ ـ دكتور محمود سرى طه « **محطات فضائيـــة لتجميع الطـاقة من الشمس وبثها الى الأرض** » ـ مجلة العلم ـ يناير ١٩٨٠ ٠

٤٠ ـ دكتور محمود سرى طه « **استخلاص الطاقة الحرارية المختزنة فى مياه المحيطات** » ـ مجلة العلم ـ ابريل ١٩٨٠ ٠

٤١ ـ دكتور محمود سرى طه « **الطاقة التقليدية والنـــووية فى مصر والعالم** » ـ الهيئة المصرية العامة للكتاب ـ ١٩٨٦ ٠

ترجمة لبعض الكلمات والمصطلحات التى وردت بالكتاب

Aberration	زيغان ـ انحـــراف
Absorbtion	امتصــــاص
Advocate	يحبذ ـ يدافع عن ـ يحتج ـ شفيع
Aerostat	انحطاط ـ احباط
Airborne	عالق فى الهواء ـ محمول جوا
Amplification	تكبير ـ تضخيم
Altitude	ارتفـاع ـ علو
Amidst	تتوســـط
Anhydrous State	لامائى ـ خال من الماء
Anomalies	الشاذة ـ غير المنتظمة
Aperture	تجويف ـ فتحة
Astigmatism	لابؤرية ـ حرج البصر ـ لانقطية
Attributed	تعزى ـ تنسب الى ـ سفة مميزة ـ شـــعار
Azimuthal	ســـمتى
Back Pressure	ضغط خلفى ـ ضغط مرتد ـ ضغط معاكس
Back Up	دعم ـ ظهارة ـ مساندة
Banks	مجموعات أو صفوف
Barrier	حاجز ـ حد فاصـــل
Blanket	غطاء ـ بطانية ـ دثار
Boom	تزدهر ـ ينتعش

Blister	قرح ـ نفطة ـ بثرة (على الاسطوانة نتيجة انطلاق البخار مثلا)
Bowl	حوض ـ طاسة ـ قصعة
Brackish	اخضم ـ ضارب الى الملوحة
Breakthrough	اختراق ـ تقدم باهر
Brine	جاج ـ محلول ملحى
Bunches	مجموعات ـ حزم ـ ربط ـ عناقيد
Bumpy	غير مستوى ـ ذى نتوءات
Bunker	مخزن ـ مستودع للوقود
Burner	لمبة اشتعال ـ حارق
Cargo	حمولة ـ شحنة
Cart	عربة بعجلتين (لنقل البضائع)
Calatysl Regeneraling Syslem	جهاز استعادة العامل المساعد (الحفاز)
Calatysl Sites	المواقع الحفازة
Cavity	تجويف ـ نقرة
Centering	تمركز
Cdarge	قيد فى حساب ـ شحن ـ حمل على
Charge	مبردات
Commensurate	متكافىء ـ متناسب ـ مقيس بذات القياس
Cogeneration	توليد مشترك (للحرارة والقوى أو الكهرباء)
Communilies	جماعات ـ مجموعات ـ فصائل
Combustor	حـــارق
Compact	ململم ـ مدمج ـ متراص ـ ملبد ـ موجز
Compost	خليط ـ سماد طبيعى
Complying	توافق ـ تمثيل ـ ترتضى

Concave	مقعـــر
Configuration	هيئة ـ تضاريس ـ شكل عام
Converter	محول ـ مبدل
Confinement	حصر ـ تحديد ـ احتواء ـ تحويط
Contend	نازع ـ ناضل ـ نافس ـ قادم
Convection	الحمل ـ التصعد ـ انتقال الحرارة بالحمل فى اتجاه رأسى
Coolant	مبرد ـ وسيط ـ تبريد
Coupled	مقرونة
Crank	ذراع ادارة
Culled Out	تعزل ـ تفـرز
Curbing	افريز ـ حافة ـ حاجز
Curvature	انحناء ـ تقوس (درجة الانحناء)
Dash-Pot	نبيطة لمنع الاهتزاز أو الاخماد
Decomposition	تحـــلل
Defer	يؤجـــل ـ يرجىء
Degradation	انحلال ـ تحليل ـ انحطاط
Delute	يخفف (اللزوجة)
Demonstration	بيان عملى ـ اثبات ـ استعراض ـ دليـل
Demolished	هدم ـ تقوض ـ خرب
Dendritic	متفرع ـ شـــجرى
Deterministic	تحديدية
Diffuser	ناشرة ـ رذاذة
Displacement Pump	مضخة ازاحية (يزاح فيها السائل بالهواء المضغوط)
Displacer	كباس اضـافى
Disposition	تنسيق ـ تدبير ـ تخلص ـ طبع ـ ميـل

Drum	مجمع المياه والبخار ـ لغلاية البخار
Dump	يخزن ـ يكوم ـ يكدس ـ قلاب
Electrolyzers	محللات بالكهرباء ـ أجهزة تحليل كهربائية
Embodied	محتواة في ـ متضمنة في
Emissions	ابتعـــاث
Enthalpy	المحتوى الحرارى في وحدة الكتلة
Envelope	غلاف ـ ظرف
Equatorial	اســـتوائى
Equinox	الاعتدال (الربيعى ـ أو الخريفى)
Evacuation	اخـــلاء ـ خـلاء
Exhibit	تبدى ـ تظهـــر
Exploitation	استغلال ـ استثمار
Extraction	استخراج ـ استخلاص
Feedback	تغذية خلفية او عكسية
Feedstock	خـام مغـذى
Flexure	انحناء ـ انعطاف ـ ثنية ـ عطفة
Fluid	مائـــع
Flush	تنظيف بتـدفق المياه ـ وميض ـ بريق
Flux	فيض ـ سريان ـ تدفق
Focus	بؤورة ـ تركيز أو ضغط بؤرى
Fouling	اتســـــاخ
Fragility	ضعف ـ ســـهولة الانكسار سرعة العطب
Grapple	كلاب ـ مرســـــاة ـ خاطـــوف (ذو كباش)
Geyser	حمة فوارة ـ مرجل ـ غلاية

Gay Hires	اســـلاك شـــدادة
Grate	شبك بالقضبان الحديدية ـ هيكل مصبعى
Grinder	جلاخـة ـ طحانة
Harshness	صـلابة ـ خشونة ـ غلظة
Heat Sink	بالوعة حرارية (لتصريف الحرارة من منطقة معينة)
Heliostat	مرآة دوارة تعكس أشـــعة الشمس فى اتجاه واحد
Hopper	قادوس ـ صندوق قمعى الشكل
Housing	غلاف ـ اطار لتثبيت جزء من الآلة ـ تبينت ـ مبيت
Hub	سرة ـ محور ـ قب (العجلة)
Igneous	نارى ـ بركانـى
Ignition	اشـــعال
Inductors	ملفات الحث أو المحادثة
Ingredient	جزء ـ عنصر ـ جزء مقوم
Inhetently	متاصلة ـ متلازمة
Impedance	معاوقة
Incineration	حرق القمامة
Insolation	اشـــعاع الشمس
Integral Unit	وحدة متكاملة
Intrinsic	ذاتــى
Isometric	متساوى القياس أو الحجم
Isothermal	متســاوى فى درجـة الحرارة ـ فى درجة حرارة ثابتة
Kiln	فرن ـ آتون ـ قمينة
Landfills	الردم
Lateral Motion	حركة جانبية

Lava	حمم بركانيـــة
Leach	استخلص بالغسيل أو الاذابة (لنزع الأملاح المعدنية مثلا)
Levitated	ســــابحة فى الهواء
Line Commutated	مبدل ـ مغير اتجـــاه (لتتوافق مع تيار الخط)
Linkage	ترابط أو ارتباط
Manure	ســــماد
Mineral	معدن ـ معــدنى
Nacelle	كنة المحرك ـ قمرة
Neap Tides	المد والجزر الناقص
Moldy	عفن ـ متعفن
Oblique	مائــــل
Octuple	ثمانى الأقطـــاب
Outlay	انفاق ـ صرف ـ تكاليف
Packaged	معباة ـ مغلقة ـ محزمة
Passive	خامل ـ سلبى ـ غير فعال
Pedestal	حامل ـ قاعدة ـ كرسى
Pellet	كرية (كرة صغيرة)
Phase	وجه ـ طــور
Pinch	قـــرص
Pit	هوة ـ حفـــرة
Polytropic	متعددة الانتحاء ـ متعددة المدارات
Pop	فرقعة ـ انفجر ـ اندفاع فجاة
Porous Trap	محبس مسامى (أو منفذ)
Potential	محتمـــل
Power Conditioning	تعديل أو تهيئة القدرة
Preservative	واقـــى
Profile	قطاع جانبى ـ مظهر جانبى

Prone	عرضـــة لـ
Pursuit	ملاحقة ـ متابعة ـ مطاردة
Ram	مطرقة أو مدك ـ كباس ضاغط
Redox	اكسدة واختزال (اخسدة)
Refrigerant	غاز أو سائل التبريد ـ مبرد
Regenerator	مسترجع ـ معيد التوليد ـ مجدد
Regulatory	منظمة ـ تنظيمية
Rejected	مطروحة ـ منبوذة ـ مرفوضة
Reradiation	اعادة الاشـــعاع
Residental Pump	مضخة تستخدم للأغراض المنزلية
Retail	قطاعى ـ بالتجزئة
Resonant Freequency	تردد رنان ـ تردد الرنين
Retrofit	تجدد تركيبـــات
Rim	حافة ـ اطار ـ طوق
Sagittal	ســـهمية الشكل
Scrubber	جهاز غسل (تنقية) الغاز
Seed Recovery	استعادة أو استرداد البذور
Segment	قطعة ـ فلقة قطة من دائرة او كرة
Self Primary Pump	مضخة ذاتية التحضير
Self-Sustaining	تدعم نفسها بنفسها
Shading	تظليل ـ تدريج الألوان ـ حجب ـ ســتر
Sift	يغربل ـ يدقق ـ ينخل
Significant	هام ـ ذى دلالة
Sintering	تلبيد ـ تكتل
Skid-mounted	مركب على حامل انزلاقى
Slagging	تكون الخبث
Sleeve	كم جلبـــة
Slug	كتلة أو كرية معدنيـــة

Slurry	مولاط ـ وقود سائل ذى عوالق صلبة
Solstice	الانقلاب الشتوى أو الصيفى
Spatial	فضائى ـ تحيزى (من حيز)
Spilled	أراق ـ فاض ـ انسكب
Spring Tide	المد والجزر التـام
Stack	رصة ـ كومة
Stalling	يتوقف ـ فقدان السرعة ـ انهيار
Sticky	لزجة ـ لصيقة
Substrate	طبقة سفلية او تحتية
Subtend	قابل ـ اكتنف ـ امتد تحت الشئ أو عبره
Sustainable	أمدى ـ مستديم
Tendem	ترادفى (واحد خلف الآخر) ـ تتابعى
Tapped	مفرع ـ مأخوذ منه فرع أو اكثر
Temporal	زمنى
Terraced	مدرج
Thermionic	ثرميونى ـ أيونى حرارى
Throw Distance	مدى القذف
Tipping Bay	ساحة قلاب
Track	يتعقب ـ يقتفى ـ يتتبع
Tracking Angle	يصطاد ـ يحبس ـ يصد
Trap	زاوية التدرج أو المسار
Trash	نفاية
Trigger	زناد ـ تفجر ـ تطلق
Truss	جمالون
Tupperware	مطرقة
Turbulence	اضطراب ـ دوامة

Upgraded	محسنة
Utility	مصلحة ـ خدمة عامة
Velvet	مخمل
Versatile	متقلب ـ متعدد المؤهلات ـ متعدد الاستعمال
Viable	حيوى أو قابل للحياة ـ قادر على
Virtually	افتراضيا ـ تقديريا
Weave	نسيج ـ ينسج
Web	نسيج ـ غشاء
Weighed Value	القيمة وفقا لوزنها أو أهميتها
Well Head	فوهة أو أعلى البئر

LIST OF ABREVIATIONS

BOC	=	Bottom — Outlet Cyclones.
COP	=	Coefficient of Performance.
DHW	=	Domestic Hot Water.
DOE	=	Department of Energy (USA)
EDF	=	Electricite De France.
or	=	Environmental Defence Fund.
ESP	=	Electrostatic Precipitator.
FMGS	=	Field Modulated Generator System.
GTO	=	Gate Turn Off
LDC	=	Load Duration Curve
MIS	=	Maritime Integrated System
NELH	=	National Energy Laboratory in Hawaii
NEPOOL	=	New England Pool
OC	=	Open Cycle
OTEC	=	Ocean Thermal Energy Conveésion
PCS	=	Power Conditioning Subsystem
PIC	=	Productr of Incomp lete Combustion
RDF	=	Refuse-Derved Fuel
SAHP	=	Solar-Assisted Heat Pumps
SCR	=	Silicon Controlled Rectifier.
SERI	=	Solar Energy Research Institute
SIT	=	Static Induction Thyrister
STCR	=	Solar Thermal Central Receiver
STF	=	Seacoast Test Facility.

الفهرس

الموضـوع	الصفحة

الموضـــوع	الصفحة

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ٧٧٤٠/١٩٩٠

ISBN — 977 — 01 — 2560 — 7

من المتوقع ان تقوم وسائل توليد الطاقة الجديدة والمتجددة بدعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية و ... العمران في انحاء ... خاصة بالنسبة لبعض المناطق ... الصحراوية والساحلية والنائية ... والتى تتم بقلة الكثافة السكانية مع ضرورة امدادها بالطاقة عصب الحياة . مما يجعل توليد الطاقة من مصادرها الجديدة والمتجددة غير التقليدية هو الحل الأمثل . وبوجه خاص من الناحية الاقتصادية .

ولقد اشتمل هذا الكتاب على ثلاثة ابواب رئيسية تغطى : الطاقة الشمسية باستخداماتها ... . مع عرض لبعض ... المحلية والعالمية - طاقة الرياح وتطوراتها التكنولوجية - طاقة باطن الأرض - طاقة التدرج الحرارى لمياه المحيطات - طاقة المد والجزر - ثم طاقة الكتلة الحيوية مع استعراض لبعض المشروعات ... منها .

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب